

<https://time.com/6290977/nuclear-war-impact-essay/>

Here's How Bad a Nuclear War Would Actually Be

4 minute read

Detailed modeling of missile trajectories in the case of a U.S.-Russia nuclear war.

Detailed modeling of missile trajectories in the case of a U.S.-Russia nuclear war. Courtesy of Future of Life Institute

Ideas

By Max Tegmark

June 29, 2023 6:00 AM EDT

Tegmark is a professor doing AI research at the Massachusetts Institute of Technology

We know that an all-out U.S.-Russia nuclear war would be bad. But how bad, exactly? How do your chances of surviving the explosions, radiation, and nuclear winter depend on where you live? The past year's unprecedented nuclear saber-rattling and last weekend's chaos in Russia has made this question timely. To help answer it, I've worked with an amazing interdisciplinary group of scientists (see end credits) to produce the most scientifically realistic simulation of a nuclear war using only unclassified data, and visualize it as a video. It combines detailed modeling of nuclear targeting, missile trajectories, blasts and the electromagnetic pulse, and of how black carbon smoke is produced, lofted and spread across the globe, altering the climate and causing mass starvation.

As the video illustrates, it doesn't matter much who starts the war: when one side launches nuclear missiles, the other side detects them and fires back before impact. Ballistic missiles from U.S. submarines west of Norway start striking Russia after about 10 minutes, and Russian ones from north of Canada start hitting the U.S. a few minutes later. The very first strikes fry electronics and power grids by creating an electromagnetic pulse of tens of thousands of volts per meter. The next strikes target command-and-control centers and nuclear launch facilities. Land-based intercontinental ballistic missiles take about half an hour to fly from launch to target.

Major cities are targeted both because they contain military facilities and to stymie the enemy's post-war recovery. Each impact creates a fireball about as hot as the core of the sun, followed by a radioactive mushroom cloud. These intense explosions vaporize people nearby and cause fires and blindness further away. The fireball expansion then causes a blast wave that damages buildings, crushing nearby ones. The U.K. and France have nuclear capabilities and are obliged by NATO's Article 5 to defend the U.S. so, Russia hits them too. Firestorms engulf many cities, where storm-level winds fan the flames, igniting anything that can burn, melting glass and some metals and turning asphalt into flammable hot liquid.

Unfortunately, peer-reviewed research suggests that explosions, the electromagnetic pulse, and the radioactivity aren't the worst part: a nuclear winter is caused by the black carbon smoke from the nuclear firestorms. The Hiroshima atomic bomb caused such a firestorm, but today's hydrogen bombs are much more powerful. A large city like Moscow, with almost 50 times more people than Hiroshima, can create much more smoke, and a firestorm that sends plumes of black smoke up into the stratosphere, far above any rain clouds that would otherwise wash out the smoke. This black smoke gets heated by sunlight, lofting it like a hot air balloon for up to a decade. High-altitude jet streams are so fast that it takes only a few days for the smoke to spread across much of the northern hemisphere.

This makes Earth freezing cold even during the summer, with farmland in Kansas cooling by about 20 degrees centigrade (about 40 degrees Fahrenheit), and other regions cooling almost twice as much. A recent scientific paper estimates that over 5 billion people could starve to death, including around 99% of those in the US, Europe, Russia, and China – because most black carbon smoke stays in the Northern hemisphere where it's produced, and because temperature drops harm agriculture more at high latitudes.

It's important to note that huge uncertainties remain, so the actual humanitarian impact could be either better or worse – a reason to proceed with caution. A recently launched \$4M open research program will hopefully help clarify public understanding and inform the global policy conversation, but much more work is needed, since most of the research on this topic is classified and focused on military rather than humanitarian impacts.

We obviously don't know how many people will survive a nuclear war. But if it's even remotely as bad as this study predicts, it has no winners, merely losers. It's easy to feel powerless, but the good news is that there is something you can do to help: please help share this video! The fact that nuclear war is likely to start via gradual escalation, perhaps combined by accident or miscalculation, means that the more people know about nuclear war, the more likely we are to avoid having one.

<https://time.com/6290977/nuclear-war-impact-essay/>

Вот насколько ужасной на самом деле могла бы быть ядерная война

4 минуты чтения

Детальное моделирование траекторий ракет в случае ядерной войны США и России.

Детальное моделирование траекторий ракет в случае ядерной войны США и России. С разрешения Института будущего жизни

Идеи

Макс Тегмарк

29 июня 2023 г., 6:00 по восточному поясному времени

Тегмарк — профессор, занимающийся исследованиями искусственного интеллекта в Массачусетском технологическом институте.

ВТМы знаем, что тотальная ядерная война между США и Россией была бы плохим результатом. Но насколько именно плохо? Как ваши шансы пережить взрывы, радиацию и ядерную зиму зависят от того, где вы живете? Беспрецедентное бряцание ядерным оружием в прошлом году и хаос, произошедший в России в минувшие выходные, сделали этот вопрос своевременным. Чтобы помочь ответить на этот вопрос, я работал с замечательной междисциплинарной группой ученых (см. финальные титры), чтобы создать наиболее реалистичную с научной точки зрения симуляцию ядерной войны, используя только несекретные данные, и визуализировать ее в виде видео. Он сочетает в себе детальное моделирование ядерного нацеливания, траекторий ракет, взрывов и электромагнитного импульса, а также того, как черный углеродный дым образуется, поднимается и распространяется по земному шару, изменяя климат и вызывая массовое голодание.

Как показывает видео, не имеет большого значения, кто начинает войну: когда одна сторона запускает ядерные ракеты, другая сторона обнаруживает их и стреляет в ответ до удара. Баллистические ракеты с американских подводных лодок к западу от Норвегии начинают поражать Россию примерно через 10 минут, а российские ракеты с севера Канады начинают поражать США через несколько минут. Первые же удары поражают электронику и электросети, создавая электромагнитный импульс силой в десятки тысяч вольт на метр. Следующие удары будут нацелены на центры управления и ядерные пусковые комплексы. Межконтинентальные баллистические ракеты наземного базирования летят от пуска до цели примерно за полчаса.

Крупные города подвергаются нападениям как потому, что в них расположены военные объекты, так и с целью помешать послевоенному восстановлению противника. Каждый удар создает огненный шар, горячий как ядро Солнца, за которым следует радиоактивный грибовидное облако. Эти мощные взрывы испаряют людей поблизости и вызывают пожары и слепоту вдали. Расширение огненного шара затем вызывает взрывную волну, которая повреждает здания, разрушая близлежащие. Великобритания и Франция обладают ядерным потенциалом и согласно статье 5 НАТО обязаны защищать США, поэтому Россия наносит удар и по ним. Огненные бури охватывают многие города, где штормовые ветры раздувают пламя, воспламеняя все, что может гореть, плавя стекло и некоторые металлы и превращая асфальт в легковоспламеняющуюся горячую жидкость.

К сожалению, рецензируемые исследования показывают, что взрывы, электромагнитный импульс и радиоактивность — не самое худшее: ядерная зима вызвана черным углеродным дымом от ядерных огненных бурь. Атомная бомба в Хиросиме вызвала такую огненную бурю, но сегодняшние водородные бомбы гораздо мощнее. Такой большой город, как Москва, в котором почти в 50 раз больше людей, чем в Хиросиме, может создать гораздо больше дыма и огненную бурю, которая поднимает шлейфы черного дыма в стратосферу, намного выше любых дождевых облаков, которые в противном случае смыли бы дым. Этот черный дым нагревается солнечным светом и поднимается вверх, как воздушный шар, на срок до десяти лет. Реактивные течения на большой высоте настолько быстры, что дыму требуется всего несколько дней, чтобы распространиться по большей части северного полушария.

Из-за этого Земля становится очень холодной даже летом: сельскохозяйственные угодья в Канзасе охлаждаются примерно на 20 градусов по Цельсию (около 40 градусов по Фаренгейту), а в других регионах охлаждается почти в два раза сильнее. По оценкам недавней научной статьи, более 5 миллиардов человек могут умереть от голода, в том числе около 99% жителей США, Европы, России и Китая — потому что большая часть черного углеродного дыма остается в Северном полушарии, где он производится, и потому что температура падает наносят большой вред сельскому хозяйству в высоких широтах.

Важно отметить, что сохраняется огромная неопределенность, поэтому фактическое гуманитарное воздействие может быть как лучше, так и хуже — это повод действовать с осторожностью. Мы надеемся, что недавно запущенная

программа открытых исследований стоимостью 4 миллиона долларов поможет прояснить общественное понимание и предоставить информацию для глобального политического диалога, но требуется гораздо больше работы, поскольку большая часть исследований по этой теме засекречена и сосредоточена на военных, а не гуманитарных последствиях.

Мы, очевидно, не знаем, сколько людей переживут ядерную войну. Но даже если ситуация даже отдаленно так плоха, как предсказывает это исследование, у нее нет победителей, есть только проигравшие. Легко почувствовать себя бессильным, но хорошая новость в том, что вы можете чем-то помочь: поделитесь этим видео! Тот факт, что ядерная война, скорее всего, начнется путем постепенной эскалации, возможно, в результате случайности или просчета, означает, что чем больше людей знают о ядерной войне, тем больше вероятность, что мы ее избежим.

<https://www.nature.com/articles/s43016-022-00573-0>

nature nature food articles

Published: 15 August 2022

Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection

Lili Xia, Alan Robock, Kim Scherrer, Cheryl S. Harrison, Benjamin Leon Bodirsky, Isabelle Weindl, Jonas Jägermeyr, Charles G. Bardeen, Owen B. Toon & Ryan Heneghan

Nature Food volume 3, pages 586–596 (2022)Cite this article

Abstract

Atmospheric soot loadings from nuclear weapon detonation would cause disruptions to the Earth's climate, limiting terrestrial and aquatic food production. Here, we use climate, crop and fishery models to estimate the impacts arising from six scenarios of stratospheric soot injection, predicting the total food calories available in each nation post-war after stored food is consumed. In quantifying impacts away from target areas, we demonstrate that soot injections larger than 5 Tg would lead to mass food shortages, and livestock and aquatic food production would be unable to compensate for reduced crop output, in almost all countries. Adaptation measures such as food waste reduction would have limited impact on increasing available calories. We estimate more than 2 billion people could die from nuclear war between India and Pakistan, and more than 5 billion could die from a war between the United States and Russia—underlining the importance of global cooperation in preventing nuclear war.

nature.com

Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection

Heneghan, Ryan

57–73 минуты

Main

Extraordinary events such as large volcanic eruptions or nuclear war could cause sudden global climate disruptions and affect food security. Global volcanic cooling caused by sulfuric acid aerosols in the stratosphere has resulted in severe famines and political instability, for example, after the 1783 Laki eruption in Iceland¹ or the 1815 Tambora eruption in Indonesia^{2,3}. For a nuclear war, the global cooling would depend on the yields of the weapons, the number of weapons and the targets, among other atmospheric and geographic factors. In a nuclear war, bombs targeted on cities and industrial areas would start firestorms, injecting large amounts of soot into the upper atmosphere, which would spread globally and rapidly cool the planet^{4,5,6}. Such soot loadings would cause decadal disruptions in Earth's climate^{7,8,9}, which would impact food production systems on land and in the oceans. In the 1980s, there were investigations of nuclear winter impacts on global agricultural production¹⁰ and food availability¹¹ for 15 nations, but new information now allows us to update those estimates. Several studies have recently analysed changes of major grain crops^{12,13,14} and marine wild catch fisheries¹⁵ for different scenarios of regional nuclear war using climate, crop and fishery models. A war between India and Pakistan, which recently are accumulating more nuclear weapons with higher yield¹⁶, could produce a stratospheric loading of 5–47 Tg of soot. A war between the United States, its allies and Russia—who possess more than 90% of the global nuclear arsenal—could produce more than 150 Tg of soot and a nuclear winter^{4,5,6,7,8,9}. While amounts of soot injection into the stratosphere from the use of fewer nuclear weapons would have smaller global impacts¹⁷, once a nuclear war starts, it may be very difficult to limit escalation¹⁸.

The scenarios we studied are listed in Table 1. Each scenario assumes a nuclear war lasting one week, resulting in the number and yield of nuclear weapons shown in the table and producing different amounts of soot in the stratosphere. There are many war scenarios that could result in similar amounts of smoke and thus similar climate shocks, including wars involving the other nuclear-armed nations (China, France, United Kingdom, North Korea and Israel).

Table 1 Number of weapons on urban targets, yields, direct fatalities from the bomb blasts and resulting number of people in danger of death due to famine for the different scenarios we studied

Full size table

Recent catastrophic forest fires in Canada in 2017¹⁹ and Australia in 2019 and 2020^{20,21} produced 0.3–1 Tg of smoke (0.006–0.02 Tg soot), which was subsequently heated by sunlight and lofted high in the stratosphere. The smoke was transported

around the world and lasted for many months. This adds confidence to our simulations that predict the same process would occur after nuclear war.

Nuclear war would primarily contaminate soil and water close to where nuclear weapons were used²². Soot disperses globally once it reaches the upper atmosphere; thus, our results are globally relevant regardless of the warring nations. Here, we focus on the climate disruption from nuclear war, which would impact global food production systems on land and in the oceans. So far, an integrated estimate of the impacts of the entire range of war scenarios on both land- and ocean-based food production is missing. We examine the impacts of six war scenarios, generating 5 Tg to 150 Tg of soot, on the food supply (Table 1). We use model simulations of major crops and wild-caught marine fish together with estimated changes in other food and livestock production to assess the impacts on global calorie supply.

Results

Impacts on crops and fish catch productivity

Using climate, crop and fishery models (Methods), we calculate calorie production for different food groups, for each year after a range of six different stratospheric soot injections. The climatic impacts would last for about a decade but would peak in the first few years (Fig. 1).

Fig. 1: Climatic impacts by year after different nuclear war soot injections.

figure 1

a–f, Changes in surface temperature (a), solar radiation (c) and precipitation (e) averaged over global crop regions of 2000 (Supplementary Fig. 1) and sea surface temperature (b), solar radiation (d) and net primary productivity (f) over the oceans following the six stratospheric soot-loading scenarios studied here for 15 years following a nuclear war, derived from simulations in ref. 18. These variables are the direct climate forcing for the crop and fishery models. The left y axes are the anomalies of monthly climate variables from simulated nuclear war minus the climatology of the control simulation, which is the average of 45 years of simulation. The right y axes are the percentage change relative to the control simulation. The wars take place on 15 May of Year 1, and the year labels are on 1 January of each year. For comparison, during the last Ice Age 20,000 years ago, global average surface temperatures were about 5 °C cooler than present. Ocean temperatures decline less than for crops because of the ocean's large heat capacity. Ocean solar radiation loss is less than for crops because most ocean is in the Southern Hemisphere, where slightly less smoke is present.

[Full size image](#)

Global average calorie production from the crops we simulated decreased 7% in years 1–5 after the war even under the smallest, 5 Tg soot scenario (Fig. 2a; comparable to previous multi-model results¹⁴, Supplementary Fig. 2) and up to 50% under the 47 Tg scenario. In the 150 Tg soot case, global average calorie production from crops would decrease by around 90% 3–4 years after the nuclear war. The changes would induce a catastrophic disruption of global food markets, as even a 7% global yield decline compared with the control simulation would exceed the largest anomaly ever recorded since the beginning of Food and Agricultural Organization (FAO) observational records in 1961¹⁴.

Fig. 2: Calorie production changes for crops and fish, and accumulated carbon change for grasses following different nuclear war soot injections.

figure 2

a–c, Global average annual crop calorie production changes (%; maize, wheat, rice and soybeans, weighted by their observed production (2010) and calorie content; a), marine fish production changes (%; b) and combined crop and fish calorie production changes (%; c) after nuclear war for the different soot-injection scenarios. d, Grass leaf carbon is a combination of C3 and C4 grasses, and the change is calculated as annual accumulated carbon. For context, the grey line (and shaded area) in a are the average (and standard deviation) of six crop models from the Global Gridded Crop Model Intercomparison (GGCMI, ref. 14) under the 5 Tg scenario. CLM5crop shows a conservative response to nuclear war compared with the multi-model GGCMI response.

[Full size image](#)

Fish are another important food resource, especially in terms of protein supply. Nuclear war would reduce the wild fish catch¹⁵, but the reduction would be less than for land agriculture (Fig. 2b), because reduction in oceanic net primary productivity—the base of the marine food web—is moderate (from 3% in 5 Tg to 37% in 150 Tg), and ocean temperature changes are less pronounced (Fig. 1). Terrestrial crop production dominates the total calorie change of crops and fisheries combined (Fig. 2c), because global crop production is 24 times higher than wild fisheries in terms of dry matter, and staple crops contain around five times more calories than fish per unit retail mass^{23,24}. In total, marine wild capture fisheries contribute 0.5% of total calories but 3.5% of global average protein supply (Fig. 3 and Supplementary Fig. 3).

Fig. 3: Global average human diet and protein composition and usage of crop-based products.

figure 3

a, Global average human diet composition²³. Percentages are % of available calories. Veg. is vegetables. b, Global average human protein diet composition²³. Marine wild capture contributes 75% of marine fish⁴⁶. Percentages are % of dry matter production. c, Distribution of four major cereal crops and marine fish between human food and other uses^{24,47}. Percentages are % of dry matter production. d, Usage of crop-based products in 2010 (% of dry matter crop-based production)²⁶. The colour gradient legend in grey in c illustrates the usage of different crops and fish in colours. While humans consume most of the wheat and rice grown, most maize and soybeans are used for livestock feed.

Full size image

Cooling from nuclear wars causes temperature limitations for crops, leading to delayed physiological maturity and additional cold stress¹⁴. Calorie reduction from agriculture and marine fisheries shows regional differences (Supplementary Fig. 4), with the strongest percentage reductions over high latitudes in the Northern Hemisphere. Even for the India–Pakistan case, many regions become unsuitable for agriculture for multiple years. For example, in the 27 Tg case, mid- to high latitudes of the Northern Hemisphere show reductions in crop calorie production greater than 50%, along with fish catch reductions of 20–30%. The nuclear-armed nations in mid- to high latitude regions (China, Russia, United States, France, North Korea and United Kingdom) show calorie reductions from 30% to 86%, and in lower latitudes (India, Pakistan and Israel), the reduction is less than 10% (Supplementary Tables 1 and 2). Impacts in warring nations are likely to be dominated by local problems, such as infrastructure destruction, radioactive contamination and supply chain disruptions, so the results here apply only to indirect effects from soot injection in remote locations.

Impacts on total human calorie intake

To estimate the effect on the total food calories available for human consumption, we consider diet composition, calorie content of different food types, crop usage and changes in food production that we did not directly model (Methods). In 2010, FAO²³ reported that 51% of global calorie availability came from cereals, 31% from vegetables, fruit, roots, tubers and nuts and 18% from animal and related products, of which fish contributed 7%, with marine wild catch contributing 3% (Fig. 3a). The crops and fish we simulated provide almost half of these calories and 40% of the protein. Further, only portions of the simulated food production are available for human consumption. Many crops (for example, maize and soybean) are used mainly for non-food uses such as livestock feed (Fig. 3c).

In addition, the total number of calories available as food is highly dependent on human reactions to nuclear wars. We assume that international trade in food is suspended as food-exporting nations halt exports in response to declining food production (Methods). Furthermore, we considered three societal responses, Livestock, Partial Livestock and No Livestock (Supplementary Table 3). For the Livestock response scenario, representing a minimal adaptation to the climate-driven reduction in food production, people continue to maintain livestock and fish as normal. Although harvesting a larger share of crop residues for feed or adding new feed such as insect-based supplements may increase the potential livestock feed, we assume that no new feed supplements are added and the ratio of agricultural grains, residues and grazed biomass to livestock feed is the same. Calories from all crops are reduced by the average reduction in our four simulated crops, and calorie changes from marine wild-caught fish are calculated with business-as-usual fishing behaviour. The No Livestock response represents a scenario where livestock (including dairy and eggs) and aquaculture production are not maintained after the first year, and the national fractions of crop production previously used as feed are now available to feed humans. In addition, fishing pressure intensifies, simulated through a fivefold increase in fish price¹⁵. Similar responses took place in New England in the ‘year without a summer’ after the 1815 Tambora volcanic eruption². Even though the temperature changes were smaller than modelled in any of the nuclear war scenarios here, crop failures forced farmers to sell their livestock because they could not feed them³, and previously unpalatable fish were added to their diet^{2,3,25}. We test a full range (0–100%) of the fraction of food-competing feed²⁶ that could be used by humans and select 50% as an example in some plots and tables. Between the Livestock and No Livestock cases, we also consider a Partial Livestock case, in which the remaining portion of livestock grain feed after converting to human consumption would be used for raising livestock.

Final biofuel products (biodiesel and ethanol) only count for 0.5% of the plant-based products²⁷, which could be repurposed as food in the form of plant oil (~1.8% of total food calories) and alcohol (3.4% of total food calories). Byproducts of biofuel have been added to livestock feed and waste²⁷. Therefore, we add only the calories from the final product of biofuel in our calculations. Global averaged household waste is around 20% (ref. 28). If we assume that after a nuclear war there would be 50% less or 100% less household waste, these extra calories would become available.

National consequences of calorie loss depend on the amount of fallow cropland, regional climate impacts, population levels and assuming a complete halt of international food trade (Methods; Fig. 4). Here, we focus on two calorie intake levels in nations: calorie intake to maintain normal physical activity and calorie intake lower than the basal metabolic rate (also known as the resting energy expenditure)²⁹. The two levels vary in countries depending on the composition and physical activity of the

population. Food consumption of less than the first level would not allow a person to maintain their normal physical activity and keep their weight at the same time, and less than the basal metabolic rate would cause fast weight loss even with only sedentary activity and thus would quickly lead to death²⁹. With a 5 Tg injection, most nations show decreasing calorie intake relative to the 2010 level but still sufficient to maintain weight (Fig. 4 and Supplementary Fig. 5). With larger soot-injection cases, severe starvation occurs in most of the mid–high latitude nations under the Livestock Case. When 50% of food-competing feed is converted for human consumption in each nation, some nations (such as the United States) would maintain sufficient calorie intake under scenarios with smaller soot injections, but weight loss or even severe starvation would occur under larger soot-injection cases (Fig. 4 and Supplementary Fig. 5).

Fig. 4: Food intake (kcal per capita per day) in Year 2 after different nuclear war soot injections.

figure 4

The left map is the calorie intake status in 2010 with no international trade; the left column is the Livestock case; the middle column is the Partial Livestock case, with 50% of livestock feed used for human food and the other 50% still used to feed livestock; and the right column is the No Livestock case, with 50% of livestock feed used for human food. All maps assume no international trade and that the total calories are evenly distributed within each nation. Regions in green mean food consumption can support the current physical activity in that country; regions in yellow are calorie intake that would cause people to lose weight, and only sedentary physical activity would be supported; and regions in red indicate that daily calorie intake would be less than needed to maintain a basal metabolic rate (also called resting energy expenditure) and thus would lead to death after an individual exhausted their body energy reserves in stored fat and expendable muscle²⁸. 150 Tg + 50% waste is half of the household waste added to food consumption, and 150 Tg + 100% waste is all household waste added to food consumption.

Full size image

Under the 150 Tg scenario, most nations would have calorie intake lower than resting energy expenditure²⁹. One exception is Australia. After we turn off international trade, wheat contributes almost 50% of the calorie intake in Australia, and production of rice, maize and soybean in Australia are less than 1% that of wheat^{23,24}. Therefore, the wheat response to simulated nuclear wars largely determines calorie intake in Australia. Because spring wheat is used to represent wheat, and simulated spring wheat there shows increasing or small reductions under nuclear war scenarios in which more favourable temperatures occur for food production, the calorie intake in Australia is

more than other nations. However, this analysis is limited by the FAO data, which are collected at national levels. Within each nation, particularly large ones, there may be large regional inequities driven by infrastructure limitations, economic structures and government policies. New Zealand would also experience smaller impacts than other countries. But if this scenario should actually take place, Australia and New Zealand would probably see an influx of refugees from Asia and other countries experiencing food insecurity.

The global average calorie supply post-war (Fig. 5a) implies that extreme regional reductions (Fig. 4) could be overcome to some extent through trade—but equal distribution of food globally would probably be a major challenge. Under the Livestock case, if food were evenly distributed over the world and household waste were 20% as in 2010²⁸, there would be enough food for everyone under the 5 Tg scenario to support their normal physical activity; if household waste were reduced from 20% to 10%, extra calories would support everyone under the 16 Tg scenario; and if there were no household waste, even under the 27 Tg case, everyone would consume sufficient calories for survival. With the most optimistic case—100% livestock crop feed to humans, no household waste and equitable global food distribution—there would be enough food production for everyone under the 47 Tg case. Assuming international trade ceased and food was distributed optimally within each country¹¹, such that the maximum number of people were given the calorie intake to maintain their weight and normal physical activity²⁸, the percentage of population that could be supported can be calculated (Fig. 5b and Supplementary Fig. 6b). Under the 150 Tg case, most countries would have less than 25% of the population survive by the end of Year 2 (Supplementary Fig. 7). In 2020, 720 million–811 million people suffered from undernutrition worldwide³⁰, despite food production being more than sufficient to nourish a larger world population. Thus, it is likely that food distribution would be inequitable both between and within countries.

Fig. 5: Overview of global calorie intake and sensitivity to livestock and food waste assumptions.

figure 5

a, Global average change in calorie intake per person per day in Year 2 post-war under the Livestock case (yellow bars) and for the Partial Livestock case (red bars), assuming that all food and waste is evenly distributed. For the Partial Livestock case, additional calories potentially available by human consumption of animal feed, mainly maize and soybeans, are plotted for various portions of converted animal feed (pink tick marks), and the remaining livestock crop feed is used for raising livestock. Critical food intake levels are marked in the right margin. b, Without international trade, the global population (%) that could be supported, although underweight, by domestic food production at the end of Year 2 after a nuclear war if they receive the calories supporting their regular physical activity²⁹ and the rest of the population would receive

no food, under the Livestock and Partial Livestock cases. The blue line in b shows the percentage of population that can be supported by current food production when food production does not change but international trade is stopped. National data are calculated first (Supplementary Tables 4 and 5 and Supplementary Fig. 5) and then aggregated to global data.

[Full size image](#)

Discussion

Using state-of-the-art climate, crop and fishery models, we calculate how the availability of food supplies could change globally under various nuclear war scenarios. We combine crops and marine fish and also consider whether livestock and animal products continue to be an important food source.

For a regional nuclear war, large parts of the world may suffer famine—even given the compensating behaviours considered in this paper. Using crops fed to livestock as human food could offset food losses locally but would make limited impacts on the total amount of food available globally, especially with large atmospheric soot injections when the growth of feed crops and pastures would be severely impaired by the resulting climate perturbation. Reducing household food waste could help in the small nuclear war cases but not in the larger nuclear wars due to the large climate-driven reduction in overall production. We find particularly severe crop declines in major exporting countries such as Russia and the United States, which could easily trigger export restrictions and cause severe disruptions in import-dependent countries²⁴. Our no-trade response illustrates this risk—showing that African and Middle Eastern countries would be severely affected.

Our analysis of the potential impacts of nuclear war on the food system does not address some aspects of the problem, leaving them for future research. In all the responses, we do not consider reduced human populations due to direct or indirect mortality and possible reduced birth rate. The total number and composition of population changes would affect available labour, calorie production and distribution. Also, we do not consider farm-management adaptations such as changes in cultivar selection, switching to more cold-tolerating crops or greenhouses³¹ and alternative food sources such as mushrooms, seaweed, methane single cell protein, insects³², hydrogen single cell protein³³ and cellulosic sugar³⁴. Although farmer adaptation³⁵ and alternative food sources could reduce the negative impact from a simulated nuclear war, it would be challenging to make all the shifts in time to affect food availability in Year 2, and further work should be done on these interventions. Current food storage can alleviate the shortage in Year 1 (ref. 14) but would have less impact on Year 2

unless it were rationed by governments or by the market. Expanding or shifting cropping land to favourable climate regions would increase crop production. Further studies on adaptation and the impacts on short-term food availability are needed, but those topics are beyond the scope of this study. Adaptation in fisheries is also not considered, such as changes in the use of discarded bycatch and offal in fisheries. These include reduced availability of fuel, fertilizer and infrastructure for food production after a war, the effects of elevated ultraviolet radiation³⁶ on food production and radioactive contamination³⁷. While this analysis focuses on calories, humans would also need proteins and micronutrients to survive the ensuing years of food deficiency (we estimate the impact on protein supply in Supplementary Fig. 3). Large-scale use of alternative foods, requiring little-to-no light to grow in a cold environment³⁸, has not been considered but could be a lifesaving source of emergency food if such production systems were operational.

In conclusion, the reduced light, global cooling and likely trade restrictions after nuclear wars would be a global catastrophe for food security. The negative impact of climate perturbations on the total crop production can generally not be offset by livestock and aquatic food (Fig. 5a). More than 2 billion people could die from a nuclear war between India and Pakistan, and more than 5 billion could die from a war between the United States and Russia (Table 1). The results here provide further support to the 1985 statement by US President Ronald Reagan and Soviet General Secretary Mikhail Gorbachev and restated by US President Joe Biden and Russian President Vladimir Putin in 2021 that ‘a nuclear war cannot be won and must never be fought’.

Methods

We use a state-of-the-art global climate model to calculate the climatic and biogeochemical changes caused by a range of stratospheric soot injections, each associated with a nuclear war scenario¹⁸ (Tables 1 and 2). Simulated changes in surface air temperature, precipitation and downward direct and diffuse solar radiation are used to force a state-of-the-art crop model to estimate how the productivity of the major crops (maize, rice, spring wheat and soybean) would be affected globally, and changes in oceanic net primary production and sea surface temperature are used to force a global marine fisheries model. We combine these results with assumptions about how other crop production, livestock production, fish production and food trade could change and calculate the amount of food that would be available for each country in the world after a nuclear war.

Table 2 Changes in food calorie availability (%) in Year 2 after a nuclear war for the nations with nuclear weapons and global average assuming no trade after simulated nuclear wars under the Livestock case, the Partial Livestock case and the No Livestock case with 50% livestock feed to human consumption

Full size table

The simulated surface climate disruptions due to the nuclear war scenarios are summarized in Fig. 1. Averaged over the current crop regions, surface downwelling solar radiation reduces by 10 W m^{-2} (5 Tg soot injection) to 130 W m^{-2} (150 Tg soot injection). With less energy received, the maximum average 2 m air temperature reductions range from 1.5°C (5 Tg soot injection) to 14.8°C (150 Tg soot injection), peaking within 1–2 years after the war, with temperature reduction lasting for more than 10 years. The cooling also reduces precipitation over summer monsoon regions. Similar but smaller reductions of solar radiation and temperature are projected in marine regions (Fig. 1b,d), with resulting changes in lower trophic-level marine primary productivity. We applied local changes at every grid cell to the crop and fish models.

Climate model

All nuclear war scenarios^{9,18} are simulated using the Community Earth System Model (CESM)³⁹. This model includes interactive atmosphere, land, ocean and sea ice. Both atmosphere and land have a horizontal resolution of $1.9^\circ \times 2.5^\circ$, and the ocean has a horizontal resolution of 1° . The atmospheric model is the Whole Atmosphere Community Climate Model version 4 (ref. 40). The land model is the Community Land Model version 4 with the carbon–nitrogen cycle. CESM output at 1- and 3-hour resolution, including 2 m air temperature, precipitation, specific humidity and downward longwave radiation and solar radiation (separated into direct and diffuse radiation), is used to drive the offline crop model simulations. There are three ensemble members of the control simulation, which repeats the climate forcing of 2000 for 15 years, three ensemble members of the 5 Tg case and one simulation for each other nuclear war scenario.

In all the simulations, the soot is arbitrarily injected during the week starting on May 15 of Year 1. Our scenarios assume that all stored food is consumed in Year 1 and we present analysis of the remaining food in Year 2. If the war occurred at the end of a calendar year, there would still be food available in Year 2, so what we label Year 2 should be relabelled Year 3. However, since the severe climate and food impacts last for more than 5 years (Figs. 1 and 2), the same conclusions apply to a world after a nuclear war.

Direct climate model output use

Because climate models have biases, it is typical to bias correct model output before using it as input for crop models. There are various techniques that attempt to use past observational data to address changes in the mean and variance, but none are perfect

and all are limited by assumptions that future relations between model output and crop model input can be based on the recent past. A common method¹⁴ is the delta method in which an observational reanalysis weather dataset is used and monthly means of temperature, precipitation and insolation are modified according to the climate model simulations. This comes with the advantage of realistic internal variability important for crop modelling^{12,13,14} but does not adjust changes in variance, which might be an unrealistic assumption under higher emission scenarios, such as the 150 Tg case. Here, because we are using a crop model that has already been calibrated with the same climate model that we are using, we use raw climate model output ($1.9^\circ \times 2.5^\circ$) to force the crop model, and this allows variance to change too.

Crop model

Crop simulation uses the Community Land Model version 5 crop (CLM5crop)^{41,42,43} in the Community Earth System Model version 2 (CESM2). Dynamic vegetation is not turned on. CLM5crop has six active crops, maize, rice, soybeans, spring wheat, sugar cane and cotton, and also simulates natural vegetation, such as grasses. In this study, we used the output of the cereals (maize, rice, soybeans and spring wheat) and grasses. Although CLM5crop does not simulate winter wheat, we assume winter wheat production is changed by the same amount as spring wheat, which has been found in other studies¹⁴; however, this may underestimate the winter wheat response, because winter wheat would experience colder temperatures during its growing period that would be more likely to cross critical thresholds¹⁴. Surface ozone and downward ultraviolet radiation would also be impacted by nuclear war³⁶, but CLM5crop is not able to consider those impacts, which might exacerbate the losses. In addition, the crop model does not consider the availability of pollinators, killing frost and alternative seeds. The model simulates rainfed crops and irrigated crops separately, and all results presented here refer to the total production of rainfed and irrigated crops. Irrigated crops are simulated under the assumption that freshwater availability is not limiting⁴³. Although evaporation is reduced with cooling, it is possible that our result may underestimate the negative impact from precipitation reduction, especially for the large injection cases.

CLM5crop was evaluated⁴¹ using FAO observations (average of 1991–2010), and it does a reasonable job of reproducing observed spatial pattern of maize, rice, soybean and spring wheat yield. Also, time series of crop yields simulated by CLM5crop compare with FAO data from 2006 to 2018, and CLM5crop reasonably represents global total production and average yields of maize, rice, soybean and spring wheat⁴².

CLM5crop is spun up for 1,060 years by repeating the past 10 years of the CESM control to reach the equilibrium of four soil carbon pools. The crop simulations are at the same resolution as CESM simulations ($1.9^\circ \times 2.5^\circ$). The crop planting date is determined by growing degree days, and the location of cropland is fixed for all crops.

Fishery model

Fish and fisheries responses are simulated with the BioEconomic mArine Trophic Size-spectrum (BOATS) model^{15,44,45}. BOATS was used to calculate the size-structured biomass of commercially targeted fish based on gridded (1° horizontal resolution) inputs of sea surface temperature and oceanic net primary production from CESM. The model also interactively simulates fishing effort and fish catch through a bioeconomic component that depends on fish price, cost of fishing, catchability and fisheries regulation¹⁵. Details are found in ref. 15 and references therein.

Combining crop and marine fish data

Supplementary Table 1 shows the total calorie reductions for each of the nine nuclear states from just the simulated crops and marine fish. Data for countries can be found in Supplementary Table 2.

To calculate nation-level calories available from simulated crops and fish, we weight the production by the calorie content of each type of food. We use data from FAO^{23,24,46,47}. Nation-level calorie reduction (%) from total production of maize, rice, soybean, wheat and marine fish is thus calculated as:

$$w_{\mathrm{iy}} = \frac{P_{\mathrm{ic}_i R_{\mathrm{iy}}}}{\sum_{i=1}^5 P_{\mathrm{ic}_i R_{\mathrm{iy}}}}$$

(1)

and

$$R_y = \sum_{i=1}^5 R_{\mathrm{iy}} w_{\mathrm{iy}},$$

(2)

where index i is maize, rice, soybean, wheat or marine fish wild catch, w_{iy} is the calorie weight of each commodity per country each year, P_i is the national production of item i in FAO-Food Balance Sheet (FBS)^{23,24}, c_i is calories per 100 g dry mass for each

item²³, R_{iy} is national production reduction (%) of each item in year y after the nuclear wars and R_y is nation-averaged calorie reduction (%) of the five items in year y after the nuclear wars.

Effects on other food types

Other crops

National averaged calorie reduction (%) of the four simulated crops is applied to the total calories of all crops in 2010 to estimate simulated nuclear war impacts on this category.

Livestock and aquaculture

We assume these two types of food share a similar response to simulated nuclear war as they involve feeding animals in a relatively controlled environment. For global calculations for livestock, we assume that 46% are fed by pasture and 54% are fed by crops and processed products⁴⁸ and use national-level data²⁶ to calculate reduction of livestock feed from pasture and crop-based products. We assume that livestock production is linearly correlated with the feed. Annual leaf carbon of grasses (both C3 and C4) is used to estimate pasture changes, and reduction of the four simulated crops is used for crop feed changes. For aquaculture, the feed is only from crops and processed products, and the production is also correlated with the amount of feed fish receive. Direct climate change impacts on livestock and fish are not considered.

Inland fish capture is not considered in this study. Because inland fish contribute only 7% of total fish production⁴⁶, adding inland fisheries would not change the main conclusions of this study.

International trade

All food commodity trade calculations are based on the 2010 FAO Commodity Balance Sheet (FAO-CBS), FAO-FBS and processed data from previous studies^{24,27,28,47}. This dataset provides the production and usage of each food and non-food agricultural product for each country and imports and exports and thus allows the calculation on a national basis of food usage and calorie availability.

Domestic availability of a food in each country comes from domestic production and reserves, reduced by exports and increased by imports. We calculate no international trade by applying the ratio of domestic production and domestic supply to each food category and the food production in different usages:

$$C_{\mathrm{food - notrade}} = C_{\mathrm{food}} \times \frac{P_{\mathrm{dp}}}{P_{\mathrm{ds}}}$$

(3)

where C_{food} is national-level calorie supply from different food types^{26,46}, $C_{\mathrm{food - notrade}}$ is national-level calorie supply from different food types with the assumption of no international trade, P_{dp} is national-level domestic production for each type of food in FAO-CBS and P_{ds} is national-level domestic supply for each type of food in FAO-CBS. Domestic supply is the available food on the market, including domestic production, export and import.

Food usage of maize, soybean, rice and wheat is calculated from FAO-CBS. In FAO-CBS, maize products are maize and byproduct maize germ oil, soybean products are soybean and byproducts soybean oil and soybean cake, rice products are rice and byproduct rice bran oil and wheat product is wheat. Products for food purposes are the sum of food supply in each category and the processing product minus the total byproducts (the difference includes processing for the purpose of alcohol or sugar).

Calorie calculations

For the Livestock case, national-level available calories are calculated by

$$\begin{array}{l} C_{\mathrm{L}} = C_{\mathrm{plantbased}} \times (1 - R_{\mathrm{cy}}) + C_{\mathrm{livestock - ruminant}} \times (1 - R_{\mathrm{grass}}) \\ + C_{\mathrm{livestock - monogastric}} \times (1 - R_{\mathrm{cy}}) + C_{\mathrm{livestock - monogastric}} \times R_{\mathrm{grass}} \times (1 - R_{\mathrm{cy}}) \\ \times \frac{F_{\mathrm{ruminant - cropfeed}}}{F_{\mathrm{monogastric - cropfeed}}} \\ + C_{\mathrm{aquaculture}} \times (1 - R_{\mathrm{cy}}) + C_{\mathrm{marine - catch}} \times (1 - R_{\mathrm{marine - catch}} - y) \\ \times (1 - R_{\mathrm{cy}}) \times C_{\mathrm{plantbased}} \times \frac{f_{\mathrm{final - product - biofuel}}}{f_{\mathrm{food}}} \end{array}$$

(4)

where CL is calories available in each nation L (kcal per capita per day) under the Livestock case, Cplantbased, Clivestock-ruminant and Clivestock-monogastric are calories available from plant-based products, ruminants and monogastrics²⁷ and Caquaculture and Cmarine-catch are calculated by calorie availability from fish²⁷ multiplied by the ratio of aquaculture and catch⁴⁶. Rgrass is grass production change, and Rmarine-catch-y is marine capture change. Fruminant-cropfeed is the fraction of crop feed for ruminant, and Fmonogastric-cropfeed is the fraction of crop feed for monogastrics²⁶. Rcy is crop production change calculated as:

$$w_{\mathrm{iy}} = \frac{P_{ic_i} R_{\mathrm{iy}}}{\sum_{i=1}^4 P_{ic_i} R_{\mathrm{iy}}},$$

(5)

and

$$R_{\mathrm{cy}} = \sum_{i=1}^4 R_{\mathrm{iy}} w_{\mathrm{iy}}$$

(6)

where index i is maize, rice, soybean or wheat, w_{iy} is the calorie weight of each commodity per country each year, P_i is the national production of item i in FAO-CBS⁴⁷, c_i is calories per 100 g retail weight for each item²³ and R_{iy} is national production change (%) of each item in year y after the nuclear wars. (f_{final-product-biofuel}) is the fraction of final product of biofuel in plant-based product, and f_{food} is the fraction of food in plant-based product.

For the No Livestock case, national-level available calories are calculated by

$$\begin{array}{l} C_{\mathrm{NL}} = C_{\mathrm{plantbased}} \\ \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) + C_{\mathrm{marine-catch}} \times \left(1 - R_{\mathrm{marine-catch-y}} \right) \\ + C_{\mathrm{plantbased}} \times f_{\mathrm{feed-to-food}} \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \times p_{\mathrm{feed-for-human}} \end{array}$$

$$+ \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \times C_{\mathrm{plantbased}} \times \frac{f_{\mathrm{final - product - biofuel}}}{f_{\mathrm{food}}} \quad \text{---}$$

(7)

CNL is national-level available calories in the No Livestock case. feed-to-food is the fraction of food crops that are used as feed relative to their usage as food, calculated based on their calorie content²⁶. pfeed-for-human is the percentage of livestock grain feed used for human consumption. We tested 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% and 100% and used 50% for Table 2 and Fig. 4.

For the Partial Livestock case, national-level available calories are calculated by

$$\begin{aligned} C_{\mathrm{PL}} &= C_{\mathrm{plantbased}} \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) + C_{\mathrm{marine - catch}} \times \left(1 - R_{\mathrm{marine - catch - y}} \right) \\ &+ C_{\mathrm{plantbased}} \times f_{\mathrm{feed - to - food}} \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \times p_{\mathrm{feed - for - human}} \\ &+ (1 - p_{\mathrm{feed - for - human}}) \times \left(C_{\mathrm{livestock - ruminant}} \times \left(1 - R_{\mathrm{grass}} \right) \right. \\ &\left. + C_{\mathrm{livestock - monogastric}} \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \right) \\ &+ \left(C_{\mathrm{livestock - monogastric}} \times R_{\mathrm{grass}} \times \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \times \frac{F_{\mathrm{ruminant - cropfeed}}}{F_{\mathrm{monogastric - cropfeed}}} \right) \\ &+ \left(1 - R_{\mathrm{cy}} \right) \times C_{\mathrm{plantbased}} \times \frac{f_{\mathrm{final - product - biofuel}}}{f_{\mathrm{food}}} \quad \text{---} \end{aligned}$$

(8)

CPL is national-level available calorie in Partial Livestock case. On the basis of the assumed percentage of livestock crop feed to convert to human consumption, instead of wasting the remaining portion of livestock crop feed as in No Livestock case, here we use the remaining livestock crop feed to raise livestock.

The percentage of national household waste is calculated by

$$P_{\mathrm{waste}} = 100\% \times \frac{C_{\mathrm{available}} - C_{\mathrm{intake}}}{C_{\mathrm{available}}}$$

(9)

P_{waste} is the percentage of national household waste of food calorie availability in 2010, $C_{\mathrm{available}}$ is the food calorie availability per day per person in each country and C_{intake} is the national calorie intake per day per person²⁷.

Calorie requirements

The population percentage supported by available calories calculated for the Livestock, Partial Livestock and No Livestock responses indicates the macro-level consequences for food security (Fig. 4). The current average human available calorie supply is 2,855 kcal per capita per day, including food intake and food waste (Fig. 3). Calorie requirements vary significantly with age, gender, size, climate, level of activity and underlying medical conditions. Ref. 27 estimated the national-level calorie availability, calorie intake, calorie from plant-based product, livestock and fish and also calculated the calorie intake of an underweight population with current physical activity of an underweight population with sedentary physical activity and calorie intake lower than the basal metabolic rate. We assume that the calorie intake of an underweight population with current physical activity is needed to support life and regular labour activity.

Uncertainties

This work was done with one Earth system model, with only one ensemble member for all the cases with soot injections >5 Tg, only one crop model and only one fishery model. For the 5 Tg case and the control, there are three ensemble members, but only the ensemble averages are used. The three ensemble members for the 5 Tg case are very similar (Supplementary Fig. 8), so climate variability for the larger forcings would be much smaller than the signal.

CESM is a state-of-the-art climate model, and its simulations of the impacts of nuclear war have been almost identical to simulations with other models for the 5 Tg (refs. 49,50) and 150 Tg (ref. 9) cases. However, further developments in climate models, such as including organic carbon in fire emissions, and better simulating aerosol growth and interactions with the surrounding environment, may improve climate prediction after a nuclear war.

CLM5crop and BOATS are also state-of-the-art models, but future simulations with different models would certainly be useful. CLM5crop compares well with other crop models in response to nuclear war forcing¹⁴ (Supplementary Fig. 2). If anything, CLM5crop underestimates the crop response to nuclear war (Fig. 2 and Supplementary Fig. 2). Because most crop models were developed for the current or warmer climates, further research is needed to understand how crops react to a suddenly cold environment. Our study is the first step to reveal national food security after nuclear wars, but crops may not respond uniformly to the same forcing in each nation, given different farming practices. In addition, multi-model assessment will be essential to fully investigate this problem, and crop model developments are important to understand impacts from surface ozone, ultraviolet radiation and freshwater availability. Furthermore, local radioactive contamination and climate change from nuclear war would impact the insect community. The influence on pests, pollinators and other insects is unclear, and hence further studies are needed.

Some assumptions in this study could be examined in future work. For example, to turn off international trade, the ratio of local production to domestic supply is applied on a national level. Also, to calculate national calorie intake after nuclear wars, we assume that food is evenly distributed in each country. Economic models will be necessary to further understand the contributions of trade and local food distribution systems to human calorie intake after nuclear wars.

This study uses calorie intake from ref. 27, and food loss from harvesting is not considered. If human behaviour and the food industry would change substantially, this would affect our conclusions.

Reporting summary

Further information on research design is available in the Nature Research Reporting Summary linked to this article.

Data availability

Data of crop yield, grass production, national livestock feed, national calorie and national plant product usage are available at <https://osf.io/YRBSE/>. Additional data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon request.

Code availability

The source code for the CESM(WACCM) model used in this study is freely available at https://www.cesm.ucar.edu/working_groups/Whole-Atmosphere/code-release.html, and the code for CLM5 is available at <https://www.cesm.ucar.edu/models/cesm2/land/>.

References

Oman, L., Robock, A., Stenchikov, G. L. & Thordarson, T. High-latitude eruptions cast shadow over the African monsoon and the flow of the Nile. *Geophys. Res. Lett.* 33, L18711 (2006).

Article ADS Google Scholar

Wood, G. D. *Tambora: The Eruption That Changed The World* (Princeton Univ. Press, 2014).

Book Google Scholar

Stommel, H. & Stommel, E. *Volcano Weather; The Story of 1816, The Year Without a Summer* (Seven Seas Press, 1983).

Turco, R. P., Toon, O. B., Ackerman, T. P., Pollack, J. B. & Sagan, C. Nuclear winter: global consequences of multiple nuclear explosions. *Science* 222, 1283–1292 (1983).

Article ADS CAS Google Scholar

Aleksandrov, V. V. & Stenchikov, G. L. On the modeling of the climatic consequences of the nuclear war. *Proc. Applied Math* (Computing Centre of the USSR Academy of Sciences, 1983).

Robock, A. Snow and ice feedbacks prolong effects of nuclear winter. *Nature* 310, 667–670 (1984).

Article ADS CAS Google Scholar

Robock, A. et al. Climatic consequences of regional nuclear conflicts. *Atm. Chem. Phys.* 7, 2003–2012 (2007).

Article [ADS](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

Robock, A., Oman, L. & Stenchikov, G. L. Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: still catastrophic consequences. *J. Geophys. Res.* 112, D13107 (2007).

[ADS](#) [Google Scholar](#)

Coupe, J., Bardeen, C. G., Robock, A. & Toon, O. B. Nuclear winter responses to global nuclear war in the Whole Atmosphere Community Climate Model Version 4 and the Goddard Institute for Space Studies ModelE. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 8522–8543 (2019).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Harwell, M. A. & Cropper Jr., W. P. in *Environmental Consequences of Nuclear War*, SCOPE 28, Volume II Ecological and Agricultural Effects, 2nd Edn (eds Harwell, M. A. & Hutchinson, T. C.) Ch. 4 (Wiley, 1989).

Cropper Jr., W. P. & Harwell, M. A. in *Environmental Consequences of Nuclear War*, SCOPE 28, Volume II Ecological and Agricultural Effects, 2nd Edn (eds Harwell, M. A. & Hutchinson, T. C.) Ch. 5 (Wiley, 1989).

Xia, L. & Robock, A. Impacts of a nuclear war in South Asia on rice production in mainland China. *Climatic Change* 116, 357–372 (2013).

Article [ADS](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

Özdoğan, M., Robock, A. & Kucharik, C. Impacts of a nuclear war in South Asia on soybean and maize production in the Midwest United States. *Climatic Change* 116, 373–387 (2013).

[Article](#) [ADS](#) [Google Scholar](#)

Jägermeyr, J. et al. A regional nuclear conflict would compromise global food security. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 117, 7071–7081 (2020).

[Article](#) [ADS](#) [Google Scholar](#)

Scherrer, K. J. N. et al. Marine wild-capture fisheries after nuclear war. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 117, 29748–29758 (2020).

[Article](#) [ADS](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

Toon, O. B. et al. Atmospheric effects and societal consequences of regional scale nuclear conflicts and acts of individual nuclear terrorism. *Atm. Chem. Phys.* 7, 1973–2002 (2007).

[Article](#) [ADS](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

Robock, A. & Zambri, B. Did smoke from city fires in World War II cause global cooling. *J. Geophys. Res. Atmos.* 123, 10314–10325 (2018).

[Article](#) [ADS](#) [Google Scholar](#)

Toon, O. B. et al. Rapid expansion of nuclear arsenals by Pakistan and India portends regional and global catastrophe. *Sci. Adv.* 5, eaay5478 (2019).

[Article](#) [ADS](#) [CAS](#) [Google Scholar](#)

Yu, P. et al. Black carbon lofts wildfire smoke high into the stratosphere to form a persistent plume. *Science* 365, 587–590 (2019).

Article ADS CAS Google Scholar

Yu, P. et al. Persistent stratospheric warming due to 2019–2020 Australian wildfire smoke. *Geophys. Res. Lett.* 48, e2021GL092609 (2021).

Article ADS Google Scholar

Peterson, D. A. et al. Australia's Black Summer pyrocumulonimbus super outbreak reveals potential for increasingly extreme stratospheric smoke events. *npj Clim. Atmos. Sci.* 4, 38 (2021).

Article Google Scholar

Ambio Advisory Group, Reference scenarios: How a nuclear war might be fought, in *Nuclear War: The Aftermath* (ed Peterson, J.) Ch. 3 (Pergamon Press, 1983).

Food Composition Tables (FAO, 2022); <http://www.fao.org/3/X9892E/X9892e05.htm>

Food Balances (FAO, 2022); <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBSH>

Falkendal, T. et al. Grain export restrictions during COVID-19 risk food insecurity in many low- and middle-income countries. *Nat. Food* 2, 11–14 (2021).

Article CAS Google Scholar

Weindl, I. et al. Livestock and human use of land: productivity trends and dietary choices as drivers of future land and carbon dynamics. *Glob. Environ. Change* 47, 121–132 (2017).

Article Google Scholar

Bodirsky, B. et al. mrcommons: MadRat Commons Input Data Library. R version 1.9.3 <https://github.com/pik-piam/mrcommons> (2022).

Bodirsky, B. L. et al. The ongoing nutrition transition thwarts long-term targets for food security, public health and environmental protection. *Sci. Rep.* 10, 19778 (2020).

Article ADS CAS Google Scholar

National Research Council, Energy, in *Recommended Dietary Allowances*, 10th Edn Ch. 3 (US National Academies Press, 1989).

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021* (FAO, 2021).

Alvarado, K. A., Mill, A., Pearce, J. M., Vocaet, A. & Denkenberger, D. Scaling of greenhouse crop production in low sunlight scenarios. *Sci. Total Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136012> (2019).

Denkenberger, D., Pearce, J. M. *Feeding Everyone No Matter What: Managing Food Security After Global Catastrophe* (Academic Press, 2014).

Martínez, J. B. G. et al. Potential of microbial protein from hydrogen for preventing mass starvation in catastrophic scenarios. *Sustain Prod. Consum.* 25, 234–247 (2021).

Article Google Scholar

Throup, J. et al. Rapid repurposing of pulp and paper mills, biorefineries, and breweries for lignocellulosic sugar production in global food catastrophes. *Food Bioprod. Process.* 131, 22–39 (2022).

Article [CAS](#) [Google Scholar](#)

Hochman, G. et al. Economic incentives modify agricultural impacts of nuclear war. *Env. Res. Lett.* 17, 054003 (2022).

Article [Google Scholar](#)

Bardeen, C. G. et al. Extreme ozone loss following nuclear war resulting in enhanced surface ultraviolet radiation. *J. Geophys. Res. Atmos.* 126, e2021JD035079 (2021).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Grover, H. D. & Harwell, M. A. Biological effects of nuclear war II: impact on the biosphere. *Bioscience* 35, 576–583 (1985).

Article [Google Scholar](#)

Denkenberger, D. C. & Pearce, J. M. Feeding everyone: solving the food crisis in event of global catastrophes that kill crops or obscure the sun. *Futures* 72, 57–68 (2015).

Article [Google Scholar](#)

Hurrell, J. W. et al. The Community Earth System Model: a framework for collaborative research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 94, 1339–1360 (2013).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Marsh, D. R. et al. Climate change from 1850 to 2005 simulated in CESM1(WACCM). J. Clim. 26, 7372–7390 (2013).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Lombardozzi, D. L. et al. Simulating agriculture in the Community Land Model Version 5. J. Geophys. Res. Biogeosci. 125, e2019JG005529 (2020).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Fan, Y. et al. Solar geoengineering can alleviate climate change pressure on crop yields. Nat. Food 2, 373–381 (2021).

Article [Google Scholar](#)

Lawrence, D. M. et al. The Community Land Model version 5: description of new features, benchmarking, and impact of forcing uncertainty. J. Adv. Modeling Earth Systems 11, 4245–4287 (2019).

Article [ADS](#) [Google Scholar](#)

Carozza, D. A., Bianchi, D. & Galbraith, E. D. Formulation, general features and global calibration of a bioenergetically-constrained fishery model. PLoS ONE 12, e0169763 (2017).

Article [Google Scholar](#)

Carozza, D. A., Bianchi, D. & Galbraith, E. D. The ecological module of BOATS-1.0: a bioenergetically constrained model of marine upper trophic levels suitable for studies of fisheries and ocean biogeochemistry. Geosci. Model Dev. 9, 1545–1565 (2016).

Article ADS Google Scholar

The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in Action (FAO, 2020); <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Commodity Balances (FAO, 2022); <https://www.fao.org/faostat/en/#data/CB>

Mottet, A. et al. Livestock: on our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Glob. Food Sec.*14, 1–8 (2017).

Article Google Scholar

Mills, M. J., Toon, O. B., Lee-Taylor, J. & Robock, A. Multi-decadal global cooling and unprecedented ozone loss following a regional nuclear conflict. *Earth's Future* 2, 161–176 (2014).

Article ADS CAS Google Scholar

Stenke, A. et al. Climate and chemistry effects of a regional scale nuclear conflict. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 9713–9729 (2013).

Article ADS Google Scholar

Toon, O. B., Robock, A. & Turco, R. P. Environmental consequences of nuclear war. *Phys. Today* 61, 37–42 (2008).

Article ADS Google Scholar

Download references

Acknowledgements

This study was supported by the Open Philanthropy Project, with partial support from the European Research Council under the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement 682602. A.R. and L.X. were supported by National Science Foundation grants AGS-2017113 and ENG-2028541. K.S. was supported by the European Research Council under the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement 682602 and Research Council of Norway project 326896. C.S.H., C.G.B. and O.B.T. were supported by the Open Philanthropy Project. J.J. was supported by the NASA GISS Climate Impacts Group and the Open Philanthropy Project. B.L.B. has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement number 776479 (COACCH) and 821010 (CASCADES). I.W. and B.L.B. have received funding from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) in the context of the project 'FOCUS—Food security and sustained coastal livelihoods through linking land and ocean' (031B0787B). R.H. was supported by the European Research Council under the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement 682602. We thank I. Helfand for valuable suggestions on the work and D. Lombardozzi for supporting CLM5crop simulations.

Author information

Authors and Affiliations

Department of Environmental Sciences, Rutgers University, New Brunswick, NJ, USA

Lili Xia & Alan Robock

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Spain

Kim Scherrer

Department of Biological Sciences, University of Bergen, Bergen, Norway

Kim Scherrer

Department of Ocean and Coastal Science, Center for Computation and Technology,
Louisiana State University, Baton Rouge, LA, USA

Cheryl S. Harrison

Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany

Benjamin Leon Bodirsky, Isabelle Weindl & Jonas Jägermeyr

World Vegetable Center, Tainan, Taiwan

Benjamin Leon Bodirsky

NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, NY, USA

Jonas Jägermeyr

Center for Climate Systems Research, Columbia University, New York, NY, USA

Jonas Jägermeyr

National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA

Charles G. Bardeen

Laboratory for Atmospheric and Space Physics, Department of Atmospheric and
Ocean Sciences, University of Colorado, Boulder, CO, USA

Owen B. Toon

School of Mathematical Sciences, Queensland University of Technology, Brisbane,
Queensland, Australia

Ryan Heneghan

Authors

Lili Xia

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Alan Robock

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Kim Scherrer

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Cheryl S. Harrison

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Benjamin Leon Bodirsky

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Isabelle Weindl

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Jonas Jägermeyr

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Charles G. Bardeen

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Owen B. Toon

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Ryan Heneghan

You can also search for this author in PubMed Google Scholar

Contributions

L.X., A.R., K.S. and C.S.H. designed the study. C.G.B. conducted the climate model simulations, L.X. conducted the crop simulations and K.S. and R.H. conducted the fishery simulations. J.J. provided GGCM crop model simulations. B.L.B. and I.W. provided national livestock feed and national calorie intake data. L.X. analysed the data with contributions from all the authors. A.R. and L.X. wrote the first draft, and all authors contributed to editing and revising the manuscript.

Corresponding author

Correspondence to Lili Xia.

Ethics declarations

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Peer review

Peer review information

Nature Food thanks Deepak Ray, Ertharin Cousin, Michal Smetana and the other, anonymous, reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work.

Additional information

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Supplementary information

Rights and permissions

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Reprints and permissions

About this article

Check for updates. Verify currency and authenticity via CrossMark

Cite this article

Xia, L., Robock, A., Scherrer, K. et al. Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection. *Nat Food* 3, 586–596 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>

Download citation

Received: 24 August 2021

Accepted: 14 July 2022

Published: 15 August 2022

DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>

<https://www.nature.com/articles/s43016-022-00573-0>

природа Природная еда статьи

статья

Открытый доступ

Опубликовано: 15 августа 2022 г.

Глобальное отсутствие продовольственной безопасности и голод из-за сокращения урожая, морского рыболовства и животноводства из-за нарушения климата в результате введения сажи ядерной войны.

Лили Ся , Алан Робок , Ким Шеррер , Шерил С. Харрисон , Бенджамин Леон Бодирский , Изабель Вайндл , Йонас Егермейр , Чарльз Дж. Бардин , Оуэн Б. Тун и Райан Хенеган

Природная еда объем 3 , страницы 586–596 (2022) Цитировать эту статью

Абстрактный

Загрязнение атмосферы сажей от взрыва ядерного оружия приведет к нарушению климата Земли, ограничивая производство продуктов питания наземными и водными организмами. Здесь мы используем модели климата, сельскохозяйственных культур и рыболовства для оценки последствий, возникающих в результате шести сценариев выброса стратосферной сажи, прогнозируя общее количество пищевых калорий, доступных в каждой стране после войны после потребления хранящихся продуктов питания. При количественной оценке воздействия за пределами целевых территорий мы показываем, что выбросы сажи в концентрации более 5 Тг приведут к массовой нехватке продовольствия, а производство продуктов животноводства и водных продуктов не сможет компенсировать сокращение производства сельскохозяйственных культур почти во всех странах. Меры по адаптации, такие как сокращение пищевых отходов, окажут ограниченное влияние на увеличение доступных калорий. По нашим оценкам, более 2 миллиардов человек могут погибнуть в результате ядерной войны между Индией и Пакистаном и более 5 миллиардов могут погибнуть в результате войны между Соединенными Штатами и Россией, что подчеркивает важность глобального сотрудничества в предотвращении ядерной войны.

www-nature-com.translate.goog

Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection

Heneghan, Ryan

62–88 минут

Основной

Чрезвычайные события, такие как крупные извержения вулканов или ядерная война, могут вызвать внезапные глобальные изменения климата и повлиять на продовольственную безопасность. Глобальное вулканическое похолодание, вызванное аэрозолями серной кислоты в стратосфере, привело к сильному голоду и политической нестабильности, например, после извержения Лаки в 1783 году в Исландии 1 или извержения Тамборы в 1815 году в Индонезии 2, 3. В случае ядерной войны глобальное похолодание будет зависеть от мощности оружия, количества оружия и целей, а также от других атмосферных и географических факторов. В ядерной войне бомбы, нацеленные на города и промышленные районы, вызовут огненные бури, выбрасывающие большое количество сажи в верхние слои атмосферы, которая распространится по всему миру и быстро охладит планету 4, 5, 6. Такое количество сажи вызовет десятилетние нарушения климата Земли 7, 8, 9, что повлияет на системы производства продуктов питания на суше и в океанах. В 1980-х годах проводились исследования воздействия ядерной зимы на глобальное сельскохозяйственное производство 10 и наличие продовольствия 11 в 15 странах, но теперь новая информация позволяет нам обновить эти оценки. В нескольких исследованиях недавно были проанализированы изменения основных зерновых культур 12, 13, 14 и морского рыболовства в дикой природе 15 для различных сценариев региональной ядерной войны с использованием моделей климата, сельскохозяйственных культур и рыболовства. Война между Индией и Пакистаном, которые в последнее время накапливают больше ядерного оружия большей мощности 16, может привести к выбросу в стратосферу 5–47 Тг сажи. Война между Соединенными Штатами, их союзниками и Россией, которая обладает более чем 90% мирового ядерного арсенала, может привести к образованию более 150 Тг сажи и вызвать ядерную зиму 4, 5, 6, 7, 8, 9. Хотя выбросы сажи в стратосферу в результате использования меньшего количества ядерного оружия будут иметь меньшие глобальные последствия 17, как только начнется ядерная война, может быть очень трудно ограничить эскалацию 18.

Сценарии, которые мы изучили, перечислены в Таблице 1. Каждый сценарий предполагает ядерную войну продолжительностью одну неделю, в результате

которой количество и мощность ядерного оружия будут указаны в таблице, а в стратосфере образуется различное количество сажи. Существует множество сценариев войны, которые могут привести к такому же количеству дыма и, следовательно, к аналогичным климатическим потрясениям, включая войны с участием других стран, обладающих ядерным оружием (Китай, Франция, Великобритания, Северная Корея и Израиль).

Таблица 1. Количество единиц оружия по городским объектам, мощность, прямые потери от взрывов бомб и итоговое количество людей, которым грозит смерть из-за голода для различных изученных нами сценариев

Полноразмерный стол

Недавние катастрофические лесные пожары в Канаде в 2017 году 19 и Австралии в 2019 и 2020 годах 20, 21 привели к образованию 0,3–1 Тг дыма (0,006–0,02 Тг сажи), который впоследствии нагревался солнечным светом и поднимался высоко в стратосферу. Дым разносился по всему миру и сохранялся в течение многих месяцев. Это добавляет уверенности нашим моделированиям, которые предсказывают, что тот же процесс произойдет после ядерной войны.

Ядерная война в первую очередь приведет к загрязнению почвы и воды вблизи мест применения ядерного оружия 22. Сажа распространяется по всему миру, достигая верхних слоев атмосферы; таким образом, наши результаты имеют глобальное значение, независимо от воюющих стран. Здесь мы концентрируемся на изменении климата в результате ядерной войны, которое повлияет на глобальные системы производства продуктов питания на суше и в океанах. На данный момент отсутствует комплексная оценка воздействия всего спектра военных сценариев на производство продовольствия как на суше, так и в океане. Мы изучаем влияние шести сценариев войны, в результате которых образуется от 5 до 150 Тг сажи, на снабжение продовольствием (таблица 1). Мы используем модельное моделирование основных сельскохозяйственных культур и морской рыбы, выловленной в дикой природе, а также предполагаемые изменения в производстве других продуктов питания и животноводства, чтобы оценить влияние на глобальное предложение калорий.

Полученные результаты

Воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность улова рыбы

Используя модели климата, сельскохозяйственных культур и рыболовства (методы), мы рассчитываем производство калорий для различных групп продуктов

питания за каждый год после шести различных выбросов стратосферной сажи. Климатические воздействия продлятся около десяти лет, но достигнут пика в первые несколько лет (рис. 1).

Рис. 1: Климатические воздействия по годам после различных выбросов сажи в результате ядерной войны.

Рисунок 1

a – f , Изменения температуры поверхности (a), солнечной радиации (c) и осадков (e), усредненных по глобальным сельскохозяйственным регионам в 2000 году (дополнительный рисунок 1), а также температуры поверхности моря (b), солнечной радиации (d) и чистой первичная продуктивность (f) над океанами в соответствии с шестью сценариями загрязнения стратосферы, изученными здесь в течение 15 лет после ядерной войны, полученными на основе моделирования в ссылке. 18 . Эти переменные напрямую влияют на климат для моделей растениеводства и рыболовства. Левые оси Y представляют собой аномалии ежемесячных климатических переменных, возникших в результате моделирования ядерной войны, за вычетом климатологии контрольного моделирования, которое представляет собой среднее значение за 45 лет моделирования. Правые оси Y представляют собой процентное изменение относительно моделирования управления. Войны происходят 15 мая первого года, а метки года отмечаются 1 января каждого года. Для сравнения: во время последнего ледникового периода 20 000 лет назад средняя глобальная температура поверхности Земли была примерно на 5 °C ниже нынешней. Температура океана снижается меньше, чем для сельскохозяйственных культур, из-за большой теплоемкости океана. Потери солнечной радиации океана меньше, чем потери сельскохозяйственных культур, поскольку большая часть океана находится в южном полушарии, где дыма немного меньше.

Полноразмерное изображение

Глобальное среднее производство калорий из смоделированных нами культур снизилось на 7% в первые-5 годы после войны даже при самом маленьком сценарии с сажой 5 Tg (рис. 2a ; сопоставимо с предыдущими результатами мультимодели 14 , дополнительный рисунок 2) и выше. до 50% по сценарию 47 Tg. В случае сажи с содержанием 150 Tg глобальное среднее производство калорий из сельскохозяйственных культур снизится примерно на 90% через 3–4 года после ядерной войны. Эти изменения вызовут катастрофический сбой на мировых продовольственных рынках, поскольку даже глобальное снижение урожайности на 7% по сравнению с контрольным моделированием превысит самую большую аномалию, когда-либо зарегистрированную с момента начала

наблюдений Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) в 1961 году 14 .

Рис. 2: Изменения в производстве калорий сельскохозяйственными культурами и рыбой, а также изменение накопленного углерода в травах после различных инъекций сажи ядерной войны.

фигура 2

а – с , Глобальное среднегодовое изменение калорийности производства сельскохозяйственных культур (%; кукурузы, пшеницы, риса и соевых бобов, взвешенное по их наблюдаемому производству (2010 г.) и калорийности; а), изменения производства морской рыбы (%; b) и совокупных культур и Изменение производства калорий в рыбе (%; c) после ядерной войны для различных сценариев впыска сажи. d . Углерод листьев трав представляет собой комбинацию трав C3 и C4, а изменение рассчитывается как годовое накопление углерода. Для контекста: серая линия (и заштрихованная область) на графике а представляет собой среднее значение (и стандартное отклонение) шести моделей сельскохозяйственных культур из Глобального взаимного сравнения моделей сельскохозяйственных культур (GGCMI, ссылка 14) в рамках сценария 5 Tg. CLM5scor демонстрирует консервативный ответ на ядерную войну по сравнению с многомодельным ответом GGCMI.

Полноразмерное изображение

Рыба является еще одним важным пищевым ресурсом, особенно с точки зрения содержания белка. Ядерная война приведет к сокращению улова дикой рыбы 15 , но это сокращение будет меньшим, чем в наземном сельском хозяйстве (рис. 2b), поскольку сокращение чистой первичной продуктивности океана — основы морской пищевой сети — является умеренным (с 3% в 5 Tg до 37% в 150 Tg), а изменения температуры океана менее выражены (рис. 1). Производство наземных культур доминирует в общем изменении калорийности сельскохозяйственных культур и рыболовства вместе взятых (рис. 2c), поскольку мировое производство сельскохозяйственных культур в 24 раза превышает объемы дикого рыболовства по сухому веществу, а основные культуры содержат примерно в пять раз больше калорий, чем рыба на единицу розничной торговли. масса 23 , 24 . В целом, морской промысел в дикой природе обеспечивает 0,5% общего количества калорий, но 3,5% среднего мирового запаса белка (рис. 3 и дополнительный рис. 3).

Рис. 3. Средний глобальный рацион человека, белковый состав и использование продуктов растениеводства.

рисунок 3

а , Средний состав рациона питания человека в мире 23 . Проценты — это % доступных калорий. Veg. это овощи. b , Средний глобальный состав белкового рациона человека 23 . На вылов морской рыбы в дикой природе приходится 75% вылова морской рыбы 46 . Проценты представляют собой % производства сухого вещества. с . Распределение четырех основных зерновых культур и морской рыбы между продуктами питания человека и другими видами использования 24 , 47 . Проценты представляют собой % производства сухого вещества. d , Использование продукции растениеводства в 2010 году (% сухого вещества продукции растениеводства) 26 . Легенда цветового градиента, выделенная серым цветом на рисунке с , иллюстрирует использование различных культур и рыб в цветах. Хотя люди потребляют большую часть выращиваемой пшеницы и риса, большая часть кукурузы и соевых бобов используется на корм скоту.

Полноразмерное изображение

Похолодание в результате ядерных войн приводит к ограничению температуры для сельскохозяйственных культур, что приводит к задержке физиологического созревания и дополнительному холодовому стрессу 14 . Сокращение калорий в результате сельского хозяйства и морского рыболовства демонстрирует региональные различия (дополнительный рисунок 4), причем самое сильное процентное снижение наблюдается в высоких широтах Северного полушария. Даже в случае Индии и Пакистана многие регионы на несколько лет становятся непригодными для ведения сельского хозяйства. Например, в случае с 27 Tg в средних и высоких широтах Северного полушария наблюдается сокращение производства калорий более чем на 50%, а также сокращение вылова рыбы на 20–30%. Страны, обладающие ядерным оружием, в регионах средних и высоких широт (Китай, Россия, США, Франция, Северная Корея и Великобритания) демонстрируют сокращение калорий от 30% до 86%, а в более низких широтах (Индия, Пакистан и Израиль) снижение составляет менее 10% (дополнительные таблицы 1 и 2). Воздействие в воюющих странах, скорее всего, будет зависеть от местных проблем, таких как разрушение инфраструктуры, радиоактивное заражение и сбои в цепочках поставок, поэтому результаты здесь применимы только к косвенным эффектам от впуска сажи в отдаленных местах.

Влияние на общее потребление калорий человеком

Чтобы оценить влияние на общее количество пищевых калорий, доступных для потребления человеком, мы учитываем состав диеты, калорийность различных типов продуктов питания, использование сельскохозяйственных культур и

изменения в производстве продуктов питания, которые мы не моделировали напрямую (Методы). В 2010 году ФАО 23 сообщила, что 51% мировых запасов калорий приходится на зерновые, 31% на овощи, фрукты, корнеплоды, клубнеплоды и орехи и 18% на продукты животного происхождения и сопутствующие продукты, из которых доля рыбы составляет 7%, при этом доля морского дикого улова 3% (рис. 3а). Смоделированные нами сельскохозяйственные культуры и рыба обеспечивают почти половину этих калорий и 40% белка. Кроме того, только часть моделируемого производства продуктов питания доступна для потребления человеком. Многие сельскохозяйственные культуры (например, кукуруза и соя) используются в основном для непродуктивных целей, таких как корм для скота (рис. 3в).

Кроме того, общее количество калорий, поступающих в пищу, сильно зависит от реакции человека на ядерные войны. Мы предполагаем, что международная торговля продуктами питания приостановлена, поскольку страны-экспортеры продуктов питания прекращают экспорт в ответ на сокращение производства продуктов питания (Методы). Кроме того, мы рассмотрели три реакции общества: домашний скот, частичное поголовье и отсутствие домашнего скота (дополнительная таблица 3). В сценарии ответных действий в области животноводства , представляющем минимальную адаптацию к вызванному климатом сокращению производства продуктов питания, люди продолжают содержать домашний скот и рыбу в обычном режиме. Хотя сбор большей доли пожнивных остатков на корм или добавление новых кормов, таких как добавки на основе насекомых, может увеличить потенциальный корм для скота, мы предполагаем, что новые кормовые добавки не добавляются, а соотношение сельскохозяйственного зерна, остатков и биомассы, выпасаемой на пастбище, к корму для скота та же. Калории от всех культур уменьшаются на среднее сокращение для наших четырех смоделированных культур, а изменения в калориях от морской рыбы, пойманной в дикой природе, рассчитываются с учетом обычного рыболовного поведения. Реакция «Нет животноводству» представляет собой сценарий, в котором животноводство (включая молочные продукты и яйца) и производство аквакультуры не поддерживаются после первого года, а национальные доли растениеводства, ранее использовавшиеся в качестве корма, теперь доступны для кормления людей. Кроме того, усиливается давление рыболовства, моделируемое пятикратным увеличением цен на рыбу 15 . Подобные реакции имели место в Новой Англии в «год без лета» после извержения вулкана Тамбора в 1815 году 2 . Несмотря на то, что изменения температуры были меньшими, чем предполагалось в любом из сценариев ядерной войны, неурожай вынудил фермеров продавать свой скот, потому что они не могли его прокормить 3 , а в их рацион была добавлена ранее невкусная рыба 2 , 3 , 25 . Мы тестируем полный диапазон (0–100%) доли конкурирующих с пищевыми продуктами кормов 26 , которые могут быть использованы людьми, и выбираем 50% в качестве примера на некоторых графиках и таблицах. Между случаями «Животноводство» и «Отсутствие домашнего скота» мы также

рассматриваем случай « Частичное поголовье скота» , в котором оставшаяся часть зерновых кормов для скота после перевода в потребление человеком будет использоваться для выращивания скота.

Конечные продукты биотоплива (биодизель и этанол) составляют лишь 0,5% продуктов растительного происхождения ²⁷ , которые могут быть переработаны в пищу в виде растительного масла (~1,8% от общего количества пищевых калорий) и алкоголя (3,4% от общего количества пищевых калорий). Побочные продукты биотоплива добавляются в корм для скота и отходы ²⁷ . Поэтому в наши расчеты мы добавляем только калории из конечного продукта биотоплива. Средний мировой уровень бытовых отходов составляет около 20% (ссылка ²⁸). Если предположить, что после ядерной войны бытовых отходов станет на 50% или на 100% меньше, эти лишние калории станут доступными.

Национальные последствия потери калорий зависят от количества пахотных земель, воздействия регионального климата, уровня населения и предположения о полной остановке международной торговли продуктами питания (Методы; рис. 4). Здесь мы фокусируемся на двух уровнях потребления калорий в разных странах: потреблении калорий для поддержания нормальной физической активности и потреблении калорий ниже основного уровня метаболизма (также известном как расход энергии в состоянии покоя) ²⁹ . Эти два уровня различаются в разных странах в зависимости от состава и физической активности населения. Потребление пищи менее первого уровня не позволит человеку поддерживать нормальную физическую активность и при этом сохранять вес, а уровень меньшего основного обмена вызовет быструю потерю веса даже при лишь сидячем образе жизни и, таким образом, быстро приведет к до смерти ²⁹ . При инъекциях 5 Tg в большинстве стран наблюдается снижение потребления калорий по сравнению с уровнем 2010 года, но все еще достаточное для поддержания веса (рис. 4 и дополнительный рис. 5). В случае более крупных случаев инъекций сажи в большинстве стран средних и высоких широт в случае с домашним скотом наблюдается серьезный голод . Когда 50% кормов, конкурирующих с пищевыми продуктами, перерабатывается для потребления человеком в каждой стране, некоторые страны (например, США) будут поддерживать достаточное потребление калорий в сценариях с меньшими выбросами сажи, но при большем количестве сажи произойдет потеря веса или даже серьезное голодание. - случаи впрыска (рис. 4 и дополнительный рис. 5).

Рис. 4: Потребление пищи (ккал на душу населения в день) на втором году обучения после различных инъекций сажи ядерной войны.

рисунок 4

На левой карте показан статус потребления калорий в 2010 году без международной торговли; левый столбец – случай с домашним скотом ; средний столбец представляет собой случай частичного поголовья скота , при котором 50% корма для скота используется в пищу людям, а остальные 50% по-прежнему используются для кормления скота; а правый столбец представляет собой случай отсутствия домашнего скота , при котором 50% кормов для скота используется в пищу людям. Все карты предполагают отсутствие международной торговли и общее количество калорий равномерно распределено внутри каждой страны. Регионы, отмеченные зеленым цветом, означают, что потребление продуктов питания может поддерживать текущую физическую активность в этой стране; области, отмеченные желтым цветом, — это потребление калорий, которое поможет людям похудеть, и будет поддерживаться только сидячая физическая активность; а области, выделенные красным, указывают на то, что ежедневное потребление калорий будет меньше, чем необходимо для поддержания основного уровня метаболизма (также называемого расходом энергии в состоянии покоя) и, таким образом, приведет к смерти после того, как человек исчерпает энергетические запасы своего тела в виде накопленного жира и расходуемых мышц 28 . 150 Тг + 50% отходов – это половина бытовых отходов, добавляемых к потреблению продуктов питания, а 150 Тг + 100% отходов – это все бытовые отходы, добавляемые к потреблению продуктов питания.

Полноразмерное изображение

Согласно сценарию 150 Тг, потребление калорий в большинстве стран будет ниже, чем расход энергии в состоянии покоя 29 . Единственным исключением является Австралия. После того, как мы отключим международную торговлю, на пшеницу приходится почти 50% калорий, потребляемых в Австралии, а производство риса, кукурузы и сои в Австралии составляет менее 1% от производства пшеницы 23 , 24 . Таким образом, реакция пшеницы на моделируемые ядерные войны во многом определяет потребление калорий в Австралии. Поскольку яровая пшеница используется для обозначения пшеницы, а моделируемая яровая пшеница показывает увеличение или небольшое снижение в сценариях ядерной войны, при которых возникают более благоприятные температуры для производства продуктов питания, потребление калорий в Австралии больше, чем в других странах. Однако этот анализ ограничен данными ФАО, которые собираются на национальном уровне. Внутри каждой страны, особенно крупных, может существовать большое региональное неравенство, вызванное ограничениями инфраструктуры, экономических структур и государственной политики. Новая Зеландия также испытывает меньшее воздействие, чем другие страны. Но если этот сценарий действительно осуществится, Австралия и Новая Зеландия, вероятно, столкнутся с притоком беженцев из Азии и других стран, испытывающих отсутствие продовольственной безопасности.

Среднее глобальное послевоенное предложение калорий (рис. 5a) подразумевает, что крайние региональные сокращения (рис. 4) можно в некоторой степени преодолеть за счет торговли, но равное распределение продовольствия во всем мире, вероятно, станет серьезной проблемой. В случае с животноводством , если бы продукты питания были равномерно распределены по всему миру, а бытовые отходы составляли бы 20%, как в 2010 году 28 , в сценарии 5 Тг еды было бы достаточно для поддержания их нормальной физической активности; если бы бытовые отходы сократились с 20% до 10%, дополнительные калории поддержали бы каждого в сценарии 16 Тг; и если бы не было бытовых отходов, даже в случае с 27 Тг, каждый потреблял бы достаточно калорий для выживания. В самом оптимистичном сценарии — 100% корма для людей, отсутствие бытовых отходов и справедливое глобальное распределение продовольствия — при сценарии с уровнем 47 Тг продуктов питания будет достаточно для всех. Если предположить, что международная торговля прекратилась и продовольствие было распределено оптимально внутри каждой страны 11 , так что максимальное количество людей получало необходимое количество калорий для поддержания своего веса и нормальной физической активности 28 , можно рассчитать процент населения, которое можно было поддержать (рис. 5b и дополнительный рисунок 6b). В случае 150 Тг к концу второго года в большинстве стран выживет менее 25% населения (дополнительный рисунок 7). В 2020 году 720–811 миллионов человек во всем мире страдали от недоедания 30 , несмотря на то, что производство продуктов питания было более чем достаточным для питания большей части населения мира. Таким образом, вполне вероятно, что распределение продовольствия будет несправедливым как между странами, так и внутри них.

Рис. 5: Обзор глобального потребления калорий и чувствительность к допущениям о животноводстве и пищевых отходах.

цифра 5

а , Глобальное среднее изменение потребления калорий на человека в день во второй послевоенный год в случае с животноводством (желтые столбцы) и в случае с частичным животноводством (красные столбцы), при условии, что все продукты питания и отходы распределены равномерно. В случае частичного животноводства дополнительные калории, потенциально доступные при потреблении человеком кормов для животных, в основном кукурузы и соевых бобов, нанесены на график для различных порций переработанных кормов для животных (розовые отметки), а оставшиеся корма для скота используются для выращивания скота. Критические уровни потребления пищи отмечены справа. b , Без международной торговли, население мира (%), которое могло бы быть поддержано, хотя и с недостаточным весом, за счет внутреннего производства продуктов питания в конце второго года после ядерной войны, если бы оно

получало калории, поддерживающие его регулярную физическую активность 29 и остальную часть населения. население не будет получать продовольствия в случаях «Животноводство» и «Частичное поголовье скота» . Синяя линия в b показывает процент населения, которое может быть прокормлено текущим производством продуктов питания, если производство продуктов питания не изменится, но международная торговля остановлена. Сначала рассчитываются национальные данные (дополнительные таблицы 4 и 5 и дополнительный рисунок 5), а затем агрегируются в глобальные данные.

Полноразмерное изображение

Обсуждение

Используя самые современные модели климата, сельскохозяйственных культур и рыболовства, мы рассчитываем, как доступность продовольствия может измениться во всем мире при различных сценариях ядерной войны. Мы объединяем сельскохозяйственные культуры и морскую рыбу, а также рассматриваем, остаются ли продукты животноводства и животноводства важным источником пищи.

В случае региональной ядерной войны значительная часть мира может пострадать от голода – даже с учетом компенсирующего поведения, рассматриваемого в этой статье. Использование сельскохозяйственных культур, скормливаемых скоту, в качестве пищи для человека могло бы компенсировать потери продовольствия на местном уровне, но окажет ограниченное воздействие на общее количество продовольствия, доступного во всем мире, особенно при больших выбросах сажи в атмосферу, когда рост кормовых культур и пастбищ будет серьезно нарушен из-за возникающих в результате возмущений климата. . Сокращение бытовых пищевых отходов могло бы помочь в случае небольших ядерных войн, но не в случае более крупных ядерных войн из-за значительного сокращения общего производства из-за климата. Мы наблюдаем особенно сильное снижение урожая в основных странах-экспортерах, таких как Россия и США, что может легко спровоцировать экспортные ограничения и вызвать серьезные сбои в импортозависимых странах 24 . Наши меры по отказу от торговли иллюстрируют этот риск, показывая, что страны Африки и Ближнего Востока серьезно пострадают.

Наш анализ потенциальных последствий ядерной войны для продовольственной системы не затрагивает некоторые аспекты проблемы, оставляя их для будущих исследований. Во всех ответах мы не учитываем сокращение численности населения из-за прямой или косвенной смертности и возможного снижения

рождаемости. Изменения в общей численности и составе населения повлияют на доступную рабочую силу, производство и распределение калорий. Кроме того, мы не рассматриваем такие адаптации управления фермерским хозяйством, как изменения в выборе сортов, переход на более холодоустойчивые культуры или теплицы 31 и альтернативные источники пищи, такие как грибы, морские водоросли, метановый одноклеточный белок, насекомые 32, водородный одноклеточный белок 33 и целлюлозный сахар 34. Хотя адаптация фермеров 35 и альтернативные источники продовольствия могут снизить негативное воздействие моделируемой ядерной войны, будет сложно вовремя осуществить все изменения, чтобы повлиять на наличие продовольствия во втором году, и над этими вмешательствами необходимо вести дальнейшую работу. Текущее хранение продовольствия может смягчить дефицит в первый год (ссылка 14), но окажет меньшее влияние на второй год, если оно не будет нормировано правительством или рынком. Расширение или перемещение посевных площадей в регионы с благоприятным климатом приведет к увеличению производства сельскохозяйственных культур. Необходимы дальнейшие исследования адаптации и влияния на краткосрочную доступность продовольствия, но эти темы выходят за рамки настоящего исследования. Адаптация в рыболовстве также не рассматривается, например, изменения в использовании выброшенного прилова и отходов рыболовства. К ним относятся снижение доступности топлива, удобрений и инфраструктуры для производства продуктов питания после войны, воздействие повышенного ультрафиолетового излучения 36 на производство продуктов питания и радиоактивное загрязнение 37. Хотя этот анализ сосредоточен на калориях, людям также потребуются белки и микроэлементы, чтобы выжить в последующие годы дефицита пищи (мы оцениваем влияние на снабжение белками на дополнительном рисунке 3). Широкомасштабное использование альтернативных продуктов питания, для выращивания которых в холодной среде требуется практически полное отсутствие света 38, не рассматривалось, но могло бы стать спасительным источником продовольствия на случай чрезвычайной ситуации, если бы такие производственные системы были в рабочем состоянии.

В заключение отметим, что снижение освещенности, глобальное похолодание и возможные торговые ограничения после ядерных войн станут глобальной катастрофой для продовольственной безопасности. Негативное влияние климатических возмущений на общую продукцию растениеводства, как правило, не может быть компенсировано животноводством и водной пищей (рис. 5а). От ядерной войны между Индией и Пакистаном может погибнуть более 2 миллиардов человек, а от войны между США и Россией – более 5 миллиардов (таблица 1). Приведенные здесь результаты еще раз подтверждают заявление президента США Рональда Рейгана и генерального секретаря СССР Михаила Горбачева, сделанное в 1985 году, а также подтвержденное президентом США Джо Байденом и президентом России Владимиром Путиным в 2021 году, что «ядерную войну невозможно выиграть и ее никогда нельзя вести».

Методы

Мы используем современную глобальную климатическую модель для расчета климатических и биогеохимических изменений, вызванных рядом выбросов стратосферной сажи, каждый из которых связан со сценарием ядерной войны 18 (таблицы 1 и 2). Смоделированные изменения температуры приземного воздуха, осадков, а также прямой и рассеянной солнечной радиации, направленной вниз, используются для того, чтобы заставить современную модель сельскохозяйственных культур оценить, как будет расти продуктивность основных культур (кукурузы, риса, яровой пшеницы и сои). затронуты во всем мире, а изменения в чистой первичной продукции океана и температуре поверхности моря используются для создания глобальной модели морского рыболовства. Мы объединяем эти результаты с предположениями о том, как могут измениться другие виды растениеводства, животноводства, производства рыбы и торговли продуктами питания, и рассчитываем количество продовольствия, которое будет доступно каждой стране мира после ядерной войны.

Таблица 2. Изменения в доступности пищевых калорий (%) на второй год после ядерной войны для стран, обладающих ядерным оружием, и средний мировой показатель при условии отсутствия торговли после моделирования ядерных войн в случае «Животноводство», «частичное разведение скота» и «случай отсутствия домашнего скота» с 50% корм для скота для потребления человеком

Полноразмерный стол

Смоделированные нарушения приземного климата из-за сценариев ядерной войны суммированы на рис. 1. В среднем по нынешним регионам выращивания сельскохозяйственных культур нисходящая солнечная радиация с поверхности снижается на 10 Вт м^{-2} (впрыск сажи 5 Тг) до 130 Вт м^{-2} (впрыск сажи 150 Тг). При меньшем количестве полученной энергии максимальное среднее снижение температуры воздуха на высоте 2 м колеблется от $1,5^\circ\text{C}$ (впрыск сажи 5 Тг) до $14,8^\circ\text{C}$ (впрыск сажи 150 Тг), достигая пика в течение 1–2 лет после войны, при этом снижение температуры длится в течение 1–2 лет после войны. более 10 лет. Похолодание также уменьшает количество осадков в регионах с летними муссонами. Аналогичное, но меньшее снижение солнечной радиации и температуры прогнозируется в морских регионах (рис. 1b,d), что приведет к изменениям в первичной продуктивности моря на более низком трофическом уровне. Мы применили локальные изменения в каждой ячейке сетки к моделям сельскохозяйственных культур и рыб.

Климатическая модель

Все сценарии ядерной войны 9 , 18 моделируются с использованием модели системы Земли Сообщества (CESM) 39 . Эта модель включает в себя интерактивную атмосферу, сушу, океан и морской лед. И атмосфера, и суша имеют горизонтальное разрешение $1,9^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, а океан имеет горизонтальное разрешение 1° . Атмосферной моделью является Модель климата всего атмосферного сообщества версии 4 (ссылка 40). Земельная модель представляет собой версию 4 «Общественной земельной модели» с углеродно-азотным циклом. Выходные данные CESM с разрешением 1 и 3 часа, включая температуру воздуха на высоте 2 м, осадки, удельную влажность, нисходящую длинноволновую радиацию и солнечную радиацию (разделенную на прямую и рассеянную радиацию), используются для моделирования автономной модели сельскохозяйственных культур. Есть три члена ансамбля моделирования управления, который повторяет климатическое воздействие 2000 года в течение 15 лет, три члена ансамбля случая 5 Тг и по одному моделированию каждого сценария ядерной войны.

Во всех симуляциях сажа произвольно впрыскивается в течение недели, начинающейся с 15 мая первого года. Наши сценарии предполагают, что вся хранящаяся еда потребляется в первый год, и мы представляем анализ оставшейся еды во второй год. В конце календарного года продовольствие по-прежнему будет доступно в Год 2, поэтому то, что мы называем Годом 2, следует переименовать в Год 3. Однако, поскольку суровые климатические и продовольственные воздействия продолжаются более 5 лет (рис. 1 и 2) .), те же выводы применимы и к миру после ядерной войны.

Прямое использование результатов климатической модели

Поскольку климатические модели имеют погрешности, обычно приходится корректировать выходные данные модели, прежде чем использовать их в качестве входных данных для моделей сельскохозяйственных культур. Существуют различные методы, которые пытаются использовать данные прошлых наблюдений для учета изменений среднего значения и дисперсии, но ни один из них не идеален, и все они ограничены предположениями о том, что будущие отношения между выходными данными модели и входными данными модели сельскохозяйственных культур могут быть основаны на недавнем прошлом. Распространенным методом 14 является дельта-метод, в котором используется набор погодных данных реанализа наблюдений, а средние месячные значения температуры, осадков и инсоляции изменяются в соответствии с моделированием климатической модели. Это дает преимущество реалистичной внутренней изменчивости, важной для моделирования сельскохозяйственных культур 12 , 13 , 14 , но не корректирует изменения в дисперсии, что может быть нереалистичным предположением в сценариях с более высокими выбросами, таких как случай 150 Тг. Здесь, поскольку мы

используем модель урожая, которая уже была откалибрована с той же моделью климата, которую мы используем, мы используем необработанные выходные данные модели климата ($1,9^{\circ} \times 2,5^{\circ}$), чтобы заставить модель урожая, и это также позволяет изменить дисперсию. .

Модель обрезки

При моделировании сельскохозяйственных культур используется культура версии 5 модели общественных земель (CLM5crop) 41 , 42 , 43 в версии 2 модели системы Земли сообщества (CESM2). Динамическая растительность не включена. CLM5crop имеет шесть активных культур: кукурузу, рис, соевые бобы, яровую пшеницу, сахарный тростник и хлопок, а также имитирует естественную растительность, например травы. В данном исследовании мы использовали продукцию зерновых (кукурузы, риса, сои и яровой пшеницы) и трав. Хотя CLM5crop не имитирует озимую пшеницу, мы предполагаем, что производство озимой пшеницы изменяется в той же степени, что и яровой пшеницы, что было обнаружено в других исследованиях 14 ; однако это может привести к недооценке реакции озимой пшеницы, поскольку озимая пшеница будет испытывать более низкие температуры во время вегетационного периода, что с большей вероятностью превысит критические пороговые значения 14 . Ядерная война также повлияет на приземный озон и нисходящее ультрафиолетовое излучение 36 , но CLM5crop не может учитывать эти воздействия, которые могут усугубить потери. Кроме того, модель урожая не учитывает наличие опылителей, убивающих морозы и альтернативных семян. Модель моделирует богарные и орошаемые культуры отдельно, и все представленные здесь результаты относятся к общему производству богарных и орошаемых культур. Орошаемые культуры моделируются в предположении, что доступность пресной воды не ограничивается 43 . Хотя испарение снижается при охлаждении, возможно, что наш результат может недооценивать негативное влияние сокращения количества осадков, особенно в случае крупных закачек.

CLM5crop оценивался 41 с использованием наблюдений ФАО (в среднем за 1991–2010 годы), и он достаточно хорошо воспроизводит наблюдаемую пространственную структуру урожайности кукурузы, риса, сои и яровой пшеницы. Кроме того, временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур, смоделированные с помощью CLM5crop, сравниваются с данными ФАО за 2006–2018 годы, и CLM5crop разумно отражает глобальный общий объем производства и среднюю урожайность кукурузы, риса, сои и яровой пшеницы 42 .

CLM5crop раскручивается на 1060 лет путем повторения последних 10 лет контроля CESM для достижения равновесия четырех пулов углерода в почве. Моделирование сельскохозяйственных культур имеет то же разрешение, что и

моделирование CESM (1,9° × 2,5°). Дата посева сельскохозяйственных культур определяется градусо-днями роста, а расположение пахотных земель фиксируется для всех культур.

Модель рыболовства

Реакция рыбы и рыболовства моделируется с помощью модели биоэкономического спектра размеров морских трофиков (BOATS) 15, 44, 45. BOATS использовался для расчета структурированной по размеру биомассы промысловой рыбы на основе данных с координатной сеткой (разрешение по горизонтали 1°) о температуре поверхности моря и чистой первичной продукции океана от CESM. Модель также в интерактивном режиме моделирует рыболовные усилия и улов рыбы с помощью биоэкономического компонента, который зависит от цены на рыбу, стоимости вылова, уловистости и регулирования рыболовства 15. Подробности можно найти в ссылке. 15 и ссылки в нем.

Объединение данных об урожае и морской рыбе

Дополнительная таблица 1 показывает общее снижение калорий для каждого из девяти ядерных состояний только за счет смоделированных сельскохозяйственных культур и морской рыбы. Данные по странам можно найти в дополнительной таблице 2.

Чтобы рассчитать калории на национальном уровне, получаемые от моделируемых сельскохозяйственных культур и рыбы, мы взвешиваем производство по калорийности каждого типа продуктов питания. Мы используем данные ФАО 23, 24, 46, 47. Таким образом, сокращение калорий на национальном уровне (%) от общего объема производства кукурузы, риса, сои, пшеницы и морской рыбы рассчитывается как:

$$w_{iy} = P_{iciRiy} \sum_{i=15}^{40} P_{iciRiy}$$

(1)

и

где индекс i — это кукуруза, рис, соя, пшеница или дикий улов морской рыбы, w_{iy} — калорийная масса каждого товара на страну каждый год, P_i — национальное производство продукта i в продовольственном балансе ФАО (FBS) 23, 24, c_i — калории на 100 г сухой массы для каждого продукта. 23, R_{iy} — национальное сокращение производства (%) каждого продукта в год y после ядерных войн, а R_y — средненациональное сокращение калорий (%) из пяти предметов в году y после ядерных войн.

Влияние на другие типы продуктов питания

Другие культуры

Среднее по стране снижение калорийности (%) четырех моделируемых культур применяется к общему количеству калорий всех культур в 2010 году для оценки воздействия моделируемой ядерной войны на эту категорию.

Животноводство и аквакультура

Мы предполагаем, что эти два типа пищи имеют схожую реакцию на симуляцию ядерной войны, поскольку они предполагают кормление животных в относительно контролируемой среде. Для глобальных расчетов по животноводству мы предполагаем, что 46% кормятся пастбищами, а 54% кормятся сельскохозяйственными культурами и продуктами переработки 48, и используем данные национального уровня 26 для расчета сокращения корма для скота из пастбищ и продуктов растениеводства. Мы предполагаем, что производство животноводческой продукции линейно коррелирует с кормами. Годовой углерод листьев трав (как C3, так и C4) используется для оценки изменений на пастбищах, а сокращение четырех моделируемых культур используется для изменения корма для сельскохозяйственных культур. Для аквакультуры корм состоит только из сельскохозяйственных культур и продуктов переработки, а производство также коррелирует с количеством корма, который получает рыба. Прямое воздействие изменения климата на домашний скот и рыбу не учитывается.

В данном исследовании не рассматривается вылов рыбы во внутренних водоемах. Поскольку доля рыбы во внутренних водоемах составляет лишь 7% от общего объема производства рыбы 46, добавление рыболовства во внутренних водоемах не изменит основных выводов этого исследования.

Международная торговля

Все расчеты по торговле продовольственными товарами основаны на товарном балансе ФАО за 2010 год (FAO-CBS), FAO-FBS и обработанных данных

предыдущих исследований 24 , 27 , 28 , 47 . Этот набор данных обеспечивает производство и использование каждого продовольственного и непродовольственного сельскохозяйственного продукта для каждой страны, а также импорт и экспорт и, таким образом, позволяет рассчитывать на национальной основе использование продуктов питания и наличие калорий.

Внутренняя доступность продуктов питания в каждой стране обусловлена внутренним производством и запасами, которые уменьшаются за счет экспорта и увеличиваются за счет импорта. Мы рассчитываем отсутствие международной торговли, применяя соотношение внутреннего производства и внутреннего предложения к каждой категории продуктов питания и производству продуктов питания в различных целях:

$$C_{\text{food-notrade}} = C_{\text{food}} \times P_{\text{dp}} P_{\text{ds}}$$

(3)

где C_{food} — это предложение калорий на национальном уровне из различных типов продуктов питания 26 , 46 , $C_{\text{food-notrade}}$ — это предложение калорий на национальном уровне из разных типов продуктов питания с допущением об отсутствии международной торговли, P_{dp} — внутреннее производство на национальном уровне для каждого типа продовольствия в FAO-CBS и P_{ds} — это внутренние запасы на национальном уровне для каждого типа продуктов питания в FAO-CBS. Внутреннее предложение — это продукты питания, имеющиеся на рынке, включая внутреннее производство, экспорт и импорт.

Потребление кукурузы, сои, риса и пшеницы в пищу рассчитывается по данным FAO-CBS. В FAO-CBS продуктами из кукурузы являются кукуруза и побочный продукт - масло зародышей кукурузы, соевые продукты - соевые бобы и побочные продукты - соевое масло и соевый жмых, рисовые продукты - это рис, побочный продукт - масло из рисовых отрубей, а пшеничный продукт - пшеница. Продукция пищевого назначения представляет собой сумму продуктов питания по каждой категории и продукта переработки за вычетом суммы побочных продуктов (разница включает переработку на спирт или сахар).

Расчет калорий

В случае с животноводством доступные калории на национальном уровне рассчитываются по формуле

$$CL = C_{\text{plantbased}} \times (1 - R_{cy}) + C_{\text{livestock-ruminant}} \times (1 - R_{\text{grass}}) + C_{\text{livestock-monogastric}} \times (1 - R_{cy}) + C_{\text{livestock-monogastric}} \times R_{\text{grass}} \times (1 - R_{cy}) \times F_{\text{ruminant-cropfeed}} + C_{\text{aquaculture}} \times (1 - R_{cy}) + C_{\text{marine-catch}} \times (1 - R_{\text{marine-catch-y}}) + (1 - R_{cy}) \times C_{\text{plantbased}} \times f_{\text{final-product-biofuel}} \times f_{\text{food}}$$

(4)

где C_L — калории, доступные в каждой стране. L (ккал на душу населения в день) в случае с животноводством, C растительного происхождения, C жвачных животных и C моногастрального скота — это калории, доступные из продуктов растительного происхождения, жвачных животных и животных с однокамерным желудком 27 и C аквакультуры. и C морского улова рассчитываются на основе наличия калорий в рыбе 27, умноженного на соотношение аквакультуры и улова 46. R_{Grass} — это изменение производства травы, а $R_{\text{Marine-Catch-y}}$ — изменение морского вылова. F жвачный корм представляет собой долю растительного корма для жвачных животных, а F моногастрический корм представляет собой долю растительного корма для животных с однокамерным желудком 26. R_{cy} — изменение производства сельскохозяйственной продукции, рассчитываемое как:

$$w_{iy} = P_i \times R_{iy} \sum_{i=1}^{40} P_i \times R_{iy},$$

(5)

и

где индекс i — кукуруза, рис, соя или пшеница, w_{iy} — калорийность каждого товара на страну каждый год, P_i — национальное производство товара i в ФАО-CBS 47, c_i — калории на 100 г розничного веса для каждый товар 23 и R_{iy} — изменение национального производства (%) каждого товара в году y после ядерных войн. — это доля конечного продукта биотоплива в продукте растительного происхождения, а f_{food} — это доля пищи в продукте растительного происхождения. $f_{\text{final-product-biofuel}}$

В случае отсутствия домашнего скота доступные калории на национальном уровне рассчитываются по формуле

$$CNL = C_{\text{plantbased}} \times (1 - R_{\text{cy}}) + C_{\text{marine-catch}} \times (1 - R_{\text{marine-catch-y}}) + C_{\text{plantbased}} \times f_{\text{feed-to-food}} \times (1 - R_{\text{cy}}) \times p_{\text{feed-for-human}} + (1 - R_{\text{cy}}) \times C_{\text{plantbased}} \times f_{\text{final-product-biofuel}} f_{\text{food}}$$

(7)

C NL — доступные калории на национальном уровне в случае отсутствия домашнего скота. f соотношение кормов к продуктам питания — это доля продовольственных культур, используемых в качестве кормов, по отношению к их использованию в пищу, рассчитанная на основе их калорийности 26. p «корм для человека» — процент зернового корма для скота, используемый для потребления человеком. Мы протестировали 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% и 100% и использовали 50% для Таблицы 2 и Рис. 4.

В случае частичного поголовья доступные калории на национальном уровне рассчитываются по формуле

$$CPL = C_{\text{plantbased}} \times (1 - R_{\text{cy}}) + C_{\text{marine-catch}} \times (1 - R_{\text{marine-catch-y}}) + C_{\text{plantbased}} \times f_{\text{feed-to-food}} \times (1 - R_{\text{cy}}) \times p_{\text{feed-for-human}} + (1 - p_{\text{feed-for-human}}) \times (C_{\text{livestock-ruminant}} \times (1 - R_{\text{grass}}) + C_{\text{livestock-monogastric}} \times (1 - R_{\text{cy}}) + C_{\text{livestock-monogastric}} \times R_{\text{grass}} \times (1 - R_{\text{cy}}) \times F_{\text{ruminant-cropfeed}} F_{\text{monogastric-cropfeed}}) + (1 - R_{\text{cy}}) \times C_{\text{plantbased}} \times f_{\text{final-product-biofuel}} f_{\text{food}}$$

(8)

C PL — доступная калорийность на национальном уровне в случае частичного поголовья. На основе предполагаемого процента корма для скота, который будет перерабатываться в потребление человеком, вместо того, чтобы тратить оставшуюся часть корма для скота, как в случае с отсутствием домашнего скота, здесь мы используем оставшийся корм для скота для выращивания скота.

Процент национальных бытовых отходов рассчитывается по формуле

$$P_{\text{waste}} = 100\% \times \frac{C_{\text{available}} - C_{\text{intake}}}{C_{\text{available}}}$$

(9)

P- отходы – это процент национальных бытовых отходов от наличия пищевых калорий в 2010 году, C доступный – это доступность пищевых калорий в день на человека в каждой стране, а потребление C – это национальное потребление калорий в день на человека 27 .

Требования к калориям

Процент населения, поддерживаемый доступными калориями, рассчитанный для ответов «Скот», «Частичное поголовье » и «Нет поголовья» , указывает на последствия на макроуровне для продовольственной безопасности (рис. 4). В настоящее время среднее количество доступных калорий для человека составляет 2855 ккал на душу населения в день, включая потребление пищи и пищевые отходы (рис. 3). Потребности в калориях значительно различаются в зависимости от возраста, пола, размера, климата, уровня активности и основных заболеваний. Ссылка. 27 оценили доступность калорий на национальном уровне, потребление калорий, калорий из продуктов растительного происхождения, домашнего скота и рыбы, а также рассчитали потребление калорий населением с недостаточным весом при текущей физической активности населения с недостаточным весом с сидячей физической активностью и потреблением калорий ниже, чем базальная скорость метаболизма. Мы предполагаем, что калорийность рациона населения с пониженной массой тела при текущей физической активности необходима для поддержания жизнедеятельности и регулярной трудовой деятельности.

Неопределенности

Эта работа была выполнена с использованием одной модели системы Земли, только одного члена ансамбля для всех случаев с закачкой сажи >5 Тг, только одной модели сельскохозяйственных культур и только одной модели рыболовства. Для случая 5 Тг и контроля имеется три члена ансамбля, но используются только средние значения по ансамблю. Три члена ансамбля для случая 5 Тг очень похожи (дополнительный рисунок 8), поэтому изменчивость климата для более крупных воздействий будет намного меньше, чем сигнал.

CESM представляет собой современную климатическую модель, и ее моделирование последствий ядерной войны почти идентично моделированию других моделей для 5 Tg (ссылки 49 , 50) и 150 Tg (ссылка 9). случаи. Однако дальнейшее развитие климатических моделей, такое как включение органического углерода в выбросы от пожаров и лучшее моделирование роста аэрозолей и взаимодействия с окружающей средой, может улучшить прогнозирование климата после ядерной войны.

CLM5crop и BOATS также являются современными моделями, но будущие симуляции с использованием других моделей, безусловно, будут полезны. CLM5crop хорошо сравнивается с другими моделями сельскохозяйственных культур в ответ на воздействие ядерной войны 14 (дополнительный рисунок 2). Во всяком случае, CLM5crop недооценивает реакцию сельскохозяйственных культур на ядерную войну (рис. 2 и дополнительный рис. 2). Поскольку большинство моделей сельскохозяйственных культур были разработаны для нынешнего или более теплого климата, необходимы дальнейшие исследования, чтобы понять, как сельскохозяйственные культуры реагируют на внезапное похолодание. Наше исследование является первым шагом к раскрытию национальной продовольственной безопасности после ядерных войн, но сельскохозяйственные культуры могут не реагировать одинаково на одно и то же воздействие в каждой стране, учитывая разные методы ведения сельского хозяйства. Кроме того, для полного изучения этой проблемы будет необходима мультимодельная оценка, а разработка моделей сельскохозяйственных культур важна для понимания воздействия приземного озона, ультрафиолетового излучения и доступности пресной воды. Кроме того, локальное радиоактивное загрязнение и изменение климата в результате ядерной войны повлияют на сообщество насекомых. Влияние на вредителей, опылителей и других насекомых неясно, поэтому необходимы дальнейшие исследования.

Некоторые предположения в этом исследовании могут быть рассмотрены в будущих работах. Например, чтобы отключить международную торговлю, соотношение местного производства к внутреннему предложению применяется на национальном уровне. Кроме того, для расчета национального потребления калорий после ядерных войн мы предполагаем, что продукты питания равномерно распределены в каждой стране. Экономические модели будут необходимы для дальнейшего понимания вклада торговли и местных систем распределения продуктов питания в потребление калорий человеком после ядерных войн.

В этом исследовании используется потребление калорий по ссылке. 27 , и потери продовольствия в результате сбора урожая не учитываются. Если поведение

человека и пищевая промышленность существенно изменятся, это повлияет на наши выводы.

Сводная отчетность

Дополнительную информацию о дизайне исследования можно найти в Кратком изложении отчетов о научных исследованиях, связанном с этой статьей.

Доступность данных

Данные об урожайности сельскохозяйственных культур, производстве травы, национальных кормах для скота, национальной калорийности и национальном использовании растительных продуктов доступны по адресу <https://osf.io/YRBSE/>.
Дополнительные данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить у соответствующего автора по запросу.

Доступность кода

Исходный код модели CESM(WACCM), использованной в этом исследовании, находится в свободном доступе по адресу https://www.cesm.ucar.edu/working_groups/Whole-AtmSphere/code-release.html, а код для CLM5 доступен по адресу <https://www.cesm.ucar.edu/models/cesm2/land/>.

Рекомендации

Оман Л., Робок А., Стенчиков Г.Л. и Тордарсон Т. Извержения в высоких широтах бросают тень на африканские муссоны и течение Нила. Геофиз. Рез. Летт. 33, L18711 (2006).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Вуд, Г. Д. Тамбора: извержение, изменившее мир (Princeton Univ. Press, 2014).

Книга Google Scholar

Стоммел, Х. и Стоммел, Э. Погода на вулканах; История 1816 года, года без лета (Seven Seas Press, 1983).

Турко, Р.П., Тун, О.Б., Акерман, Т.П., Поллак, Дж.Б. и Саган, К. Ядерная зима: глобальные последствия множественных ядерных взрывов. Science 222 , 1283–1292 (1983).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ КАС Google Scholar

Александров В.В., Стенчиков Г.Л. К моделированию климатических последствий ядерной войны. Учеб. Прикладная математика (ВЦ АН СССР, 1983).

Робок, А. Обратные связи снега и льда продлевают последствия ядерной зимы. Природа 310 , 667–670 (1984).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ КАС Google Scholar

Робок А. и др. Климатические последствия региональных ядерных конфликтов. Атм. хим. Физ. 7 , 2003–2012 (2007).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ КАС Google Scholar

Робок А., Оман Л. и Стенчиков Г.Л. Ядерная зима вновь с учетом современной климатической модели и нынешних ядерных арсеналов: последствия все еще катастрофичны. Дж. Геофиз. Рез. 112 , D13107 (2007).

ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Куп Дж., Бардин К.Г., Робок А. и Тун О.Б. Реакция ядерной зимы на глобальную ядерную войну в климатической модели сообщества всей атмосферы, версия 4 и модели Е Института космических исследований Годдарда. Дж. Геофиз. Рез. Атмосфера. 124 , 8522–8543 (2019).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Харвелл, Массачусетс и Кроппер-младший, WP, «Экологические последствия ядерной войны», ОБЛАСТЬ 28, Том II «Экологические и сельскохозяйственные последствия» , 2-е изд. (ред. Харвелл, М.А. и Хатчинсон, Т.К.) Гл. 4 (Уайли, 1989).

Кроппер-младший, В.П. и Харвелл, магистр экологических последствий ядерной войны, ОБЛАСТЬ 28, том II «Экологические и сельскохозяйственные последствия» , 2-е изд. (ред. Харвелл, М.А. и Хатчинсон, Т.К.) Гл. 5 (Уайли, 1989).

Ся Л. и Робок А. Влияние ядерной войны в Южной Азии на производство риса в материковом Китае. Изменение климата 116 , 357–372 (2013).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ КАС Google Scholar

Оздоган М., Робок А. и Кучарик К. Влияние ядерной войны в Южной Азии на производство сои и кукурузы на Среднем Западе США. Изменение климата 116 , 373–387 (2013).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Ягермейр Дж. и др. Региональный ядерный конфликт поставит под угрозу глобальную продовольственную безопасность. Учеб. Натл Акад. наук. США 117 , 7071–7081 (2020).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Шеррер, KJN и др. Морское рыболовство в дикой природе после ядерной войны. Учеб. Натл Акад. наук. США 117 , 29748–29758 (2020).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ КАС Google Scholar

Тун, О.Б. и др. Атмосферные эффекты и социальные последствия ядерных конфликтов регионального масштаба и актов индивидуального ядерного терроризма. Атм. хим. Физ. 7 , 1973–2002 (2007).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ KAC Google Scholar

Робок А. и Замбри Б. Вызвал ли дым от городских пожаров во время Второй мировой войны глобальное похолодание? Дж. Геофиз. Рез. Атмосфера. 123 , 10314–10325 (2018).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Тун, О.Б. и др. Быстрое расширение ядерных арсеналов Пакистаном и Индией предвещает региональную и глобальную катастрофу. наук. Адв. 5 , eaay5478 (2019).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ KAC Google Scholar

Ю, П. и др. Черный углерод поднимает дым лесных пожаров высоко в стратосферу, образуя стойкий шлейф. Наука 365 , 587–590 (2019).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ KAC Google Scholar

Ю, П. и др. Устойчивое стратосферное потепление из-за дыма от лесных пожаров в Австралии в 2019–2020 годах. Геофиз. Рез. Летт. 48 , e2021GL092609 (2021).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Петерсон, Д.А. и др. Супервспышка пирокумулято-дождевых облаков «Черное лето» в Австралии выявила потенциал все более экстремальных явлений задымления в стратосфере. прj Клим. Атмосфера. наук. 4 , 38 (2021).

Статья Google Scholar

Консультативная группа Амбио , Справочные сценарии: Как можно вести ядерную войну, в книге Nuclear War: The Aftermath (ed Peterson, J.), Ch. 3 (Пергамон Пресс, 1983).

Таблицы состава пищевых продуктов (ФАО, 2022 г.);
<http://www.fao.org/3/X9892E/X9892e05.htm>

Продовольственные балансы (ФАО, 2022 г.);
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBSH>

Фалькендал Т. и др. Ограничения на экспорт зерна во время Covid-19 ставят под угрозу продовольственную безопасность во многих странах с низким и средним уровнем дохода. Нат. Еда 2 , 11–14 (2021).

Статья KAC Google Scholar

Вайндл И. и др. Животноводство и использование земли человеком: тенденции производительности и выбор диеты как движущие силы будущей динамики земель и выбросов углерода. Глоб. Окружающая среда. Изменение 47 , 121–132 (2017).

Статья Google Scholar

Бодирский Б. и др. mrcommons: Библиотека входных данных MadRat Commons. Версия R 1.9.3 <https://github.com/pik-piam/mrcommons> (2022 г.).

Бодирский Б.Л. и др. Продолжающийся переход к питанию подрывает долгосрочные цели в области продовольственной безопасности, общественного здравоохранения и защиты окружающей среды. наук. Отчет 10 , 19778 (2020).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ KAC Google Scholar

Национальный исследовательский совет по энергетике, Рекомендуемые диетические нормы, 10-е издание, гл. 3 (Издательство Национальных академий США, 1989).

ФАО, МФСР, ЮНИСЕФ, ВПП и ВОЗ «Состояние продовольственной безопасности и питания в мире в 2021 году» (ФАО, 2021).

Альварадо К.А., Милль А., Пирс Дж.М., Вокает А. и Денкенбергер Д. Масштабирование производства тепличных культур в сценариях слабого солнечного света. наук. Тотальная среда. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136012> (2019).

Денкенбергер Д., Пирс Дж. М. Кормление всех, несмотря ни на что: управление продовольственной безопасностью после глобальной катастрофы (Academic Press, 2014).

Мартинес, JBG и др. Потенциал микробного белка из водорода для предотвращения массового голодания в катастрофических сценариях. Систейн Прод. Потребление. 25 , 234–247 (2021).

Статья Google Scholar

Трауп, Дж. и др. Быстрое перепрофилирование целлюлозно-бумажных комбинатов, биоперерабатывающих заводов и пивоваренных заводов для производства лигноцеллюлозного сахара в условиях глобальных продовольственных катастроф. Пищевая Биопрод. Процесс. 131 , 22–39 (2022).

Статья KAC Google Scholar

Хохман Г. и др. Экономические стимулы изменяют последствия ядерной войны для сельского хозяйства. Конв. Рез. Летт. 17 , 054003 (2022).

Статья Google Scholar

Бардин, К.Г. и др. Чрезвычайная потеря озона после ядерной войны, что привело к усилению приземного ультрафиолетового излучения. Дж. Геофиз. Рез. Атмосфера. 126 , e2021JD035079 (2021).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Гровер, Х.Д. и Харвелл, М.А. Биологические последствия второй ядерной войны: воздействие на биосферу. Bioscience 35 , 576–583 (1985).

Статья Google Scholar

Денкенбергер, округ Колумбия, и Пирс, Дж. М. Накормить всех: решение продовольственного кризиса в случае глобальных катастроф, которые уничтожают посевы или закрывают солнце. Фьючерсы 72 , 57–68 (2015).

Статья Google Scholar

Харрелл, Дж.В. и др. Модель системы Земли сообщества: основа для совместных исследований. Бык. Являюсь. Метеорол. Соц. 94 , 1339–1360 (2013).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Марш, Д.Р. и др. Изменение климата с 1850 по 2005 год, смоделированное в CESM1 (WACCM). Дж. Клим. 26 , 7372–7390 (2013).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Ломбардоцци, Д.Л. и др. Моделирование сельского хозяйства в модели общинных земель, версия 5. J. Geophys. Рез. Биогеология. 125 , e2019JG005529 (2020).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Фан, Ю. и др. Солнечная геоинженерия может смягчить давление изменения климата на урожайность сельскохозяйственных культур. Нат. Еда 2 , 373–381 (2021).

Статья Google Scholar

Лоуренс, DM и др. Модель общественных земель, версия 5: описание новых особенностей, сравнительный анализ и влияние неопределенности. Дж. Адв. Моделирование систем Земли 11 , 4245–4287 (2019).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Кароцца Д.А., Бьянки Д. и Гэлбрейт Э.Д. Формулировка, общие характеристики и глобальная калибровка модели рыболовства с биоэнергетическими ограничениями. PLoS ONE 12 , e0169763 (2017).

Статья Google Scholar

Кароцца Д.А., Бьянки Д. и Гэлбрейт Э.Д. Экологический модуль BOATS-1.0: биоэнергетически ограниченная модель верхних трофических уровней моря, пригодная для изучения рыболовства и биогеохимии океана. Геосци. Модель Дев. 9 , 1545–1565 (2016).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Состояние мирового рыболовства и аквакультуры в 2020 году. Устойчивость в действии (ФАО, 2020); <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Товарные балансы (ФАО, 2022 г.); <https://www.fao.org/faostat/en/#data/CB>

Моттет А. и др. Домашний скот: на наших тарелках или ест за нашим столом? Новый анализ дебатов о кормах и продуктах питания. Глоб. Продовольственный отдел. 14 , 1–8 (2017).

Статья Google Scholar

Миллс, М.Дж., Тун, О.Б., Ли-Тейлор, Дж. и Робок, А. Глобальное похолодание, продолжающееся несколько десятилетий, и беспрецедентная потеря озона после регионального ядерного конфликта. Будущее Земли 2 , 161–176 (2014).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ KAC Google Scholar

Стенке А. и др. Климатические и химические последствия ядерного конфликта регионального масштаба. Атмосфера. хим. Физ. 13 , 9713–9729 (2013).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Тун О.Б., Робок А. и Турко Р.П. Экологические последствия ядерной войны. Физ. Сегодня 61 , 37–42 (2008).

Статья ОБЪЯВЛЕНИЯ Google Scholar

Скачать ссылки

Благодарности

Это исследование было поддержано Проектом «Открытая филантропия» при частичной поддержке Европейского исследовательского совета в рамках программы исследований и инноваций Европейского Союза «Горизонт 2020» в рамках грантового соглашения 682602. AR и LX были поддержаны грантами Национального научного фонда AGS-2017113 и ENG-2028541. . KS получил поддержку Европейского исследовательского совета в рамках программы исследований и инноваций Европейского Союза Horizon 2020 в рамках грантового

соглашения 682602 и проекта Исследовательского совета Норвегии 326896. CSH, CGB и OBT были поддержаны проектом Open Philanthropy Project. Джей-Джея поддержали Группа NASA GISS Climate Impacts и Открытый благотворительный проект. BLB получила финансирование от программы исследований и инноваций Европейского Союза Horizon 2020 в рамках грантового соглашения № 776479 (COACCH) и 821010 (CASCADES). IW и BLB получили финансирование от Федерального министерства образования и исследований Германии (BMBF) в контексте проекта «ФОКУС – Продовольственная безопасность и устойчивые средства к существованию в прибрежных районах посредством соединения суши и океана» (031B0787B). RH получил поддержку Европейского исследовательского совета в рамках программы исследований и инноваций Европейского Союза Horizon 2020 в рамках грантового соглашения 682602. Мы благодарим И. Гельфанда за ценные предложения по работе и Д. Ломбардоцци за поддержку моделирования CLM5crop.

Информация об авторе

Авторы и филиалы

Департамент наук об окружающей среде, Университет Рутгерса, Нью-Брансуик, Нью-Джерси, США

Лили Ся и Алан Робок

Институт науки и технологий окружающей среды, Автономный университет Барселоны, Серданьола-дель-Вальес, Испания

Ким Шеррер

Кафедра биологических наук, Бергенский университет, Берген, Норвегия

Ким Шеррер

Департамент океанических и прибрежных наук, Центр вычислений и технологий, Университет штата Луизиана, Батон-Руж, Луизиана, США

Шерил С. Харрисон

Потсдамский институт исследования воздействия на климат, Потсдам,
Германия

Бенджамин Леон Бодирски, Изабель Вайндл и Йонас Егермейр

Всемирный овощной центр, Тайнань, Тайвань

Бенджамин Леон Бодирски

Институт космических исследований имени Годдарда НАСА, Нью-Йорк, штат
Нью-Йорк, США

Йонас Егермейр

Центр исследований климатических систем, Колумбийский университет, Нью-
Йорк, штат Нью-Йорк, США

Йонас Егермейр

Национальный центр атмосферных исследований, Боулдер, Колорадо, США

Чарльз Дж. Бардин

Лаборатория физики атмосферы и космоса, Департамент наук об атмосфере и
океане, Университет Колорадо, Боулдер, Колорадо, США

Оуэн Б. Тун

Школа математических наук Квинслендского технологического университета,
Брисбен, Квинсленд, Австралия

Райан Хенеган

Авторы

Лили Ся

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Алан Робок

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Ким Шерпер

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Шерил С. Харрисон

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Бенджамин Леон Бодирски

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Изабель Вайндл

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Йонас Егермейр

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Чарльз Дж. Бардин

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Оуэн Б. Тун

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Райан Хенеган

Вы также можете найти этого автора вПабМед Google Scholar

Взносы

LX, AR, KS и CSH разработали исследование. CGB провел моделирование климата, LX провел моделирование сельскохозяйственных культур, а KS и RH провели моделирование рыболовства. Джей-Джей предоставил модели урожая GGCMi. BLB и IW предоставили национальные данные о кормах для скота и потреблении калорий. LX проанализировал данные с участием всех авторов. AR и LX написали первый вариант, и все авторы внесли свой вклад в редактирование и доработку рукописи.

Автор-корреспондент

Переписка с Лили Ся .

Этические декларации

Конкурирующие интересы

Авторы заявляют об отсутствии конкурирующих интересов.

Экспертная оценка

Информация о рецензировании

Nature Food благодарит Дипака Рэя, Эртарина Казина, Михала Сметану и других анонимных рецензентов за их вклад в рецензирование этой работы.

Дополнительная информация

Примечание издателя Springer Nature сохраняет нейтралитет в отношении заявлений о юрисдикции в опубликованных картах и институциональной принадлежности.

Дополнительная информация

Права и разрешения

Открытый доступ. Эта статья распространяется по международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0, которая разрешает использование, совместное использование, адаптацию, распространение и воспроизведение на любом носителе и в любом формате при условии, что вы укажете соответствующую ссылку на оригинального автора(ов) и источник. предоставить ссылку на лицензию Creative Commons и указать, были ли внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в лицензию Creative Commons, если иное не указано в кредитной линии материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons статьи и предполагаемое использование не разрешено законодательством или превышает разрешенное использование, вам необходимо будет получить разрешение непосредственно от правообладателя. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> .

Перепечатки и разрешения

Об этой статье

Проверьте наличие обновлений. Проверьте валюту и подлинность через CrossMark.

Цитировать эту статью

Ся Л., Робок А., Шеррер К. и др. Глобальное отсутствие продовольственной безопасности и голод из-за сокращения урожая, морского рыболовства и животноводства из-за нарушения климата в результате введения сажи ядерной войны. *Nat Food* 3 , 586–596 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>

Скачать цитату

Полученный:24 августа 2021 г.

Принял:14 июля 2022 г.

Опубликовано:15 августа 2022 г.

Дата выпуска:август 2022 г.

DOI:<https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>

Предметы

Рис. 1: Климатические воздействия по годам после различных выбросов сажи в результате ядерной войны.

Рисунок 1

a – f , Изменения температуры поверхности (a), солнечной радиации (c) и осадков (e), усредненных по глобальным сельскохозяйственным регионам в 2000 году (дополнительный рисунок 1), а также температуры поверхности моря (b), солнечной радиации (d) и чистой первичная продуктивность (f) над океанами в соответствии с шестью сценариями загрязнения стратосферы, изученными здесь в течение 15 лет после ядерной войны, полученными на основе моделирования в ссылке. 18 . Эти переменные напрямую влияют на климат для моделей растениеводства и рыболовства. Левые оси Y представляют собой аномалии ежемесячных климатических переменных, возникших в результате моделирования ядерной войны, за вычетом климатологии контрольного моделирования, которое представляет собой среднее значение за 45 лет моделирования. Правые оси Y представляют собой процентное изменение относительно моделирования управления. Войны происходят 15 мая первого года, а метки года отмечаются 1 января каждого года. Для сравнения: во время последнего ледникового периода 20 000 лет назад средняя глобальная температура поверхности Земли была примерно на 5 °C ниже нынешней. Температура океана снижается меньше, чем для сельскохозяйственных культур, из-за большой теплоемкости океана. Потери солнечной радиации океана меньше, чем потери сельскохозяйственных культур, поскольку большая часть океана находится в южном полушарии, где дыма немного меньше.

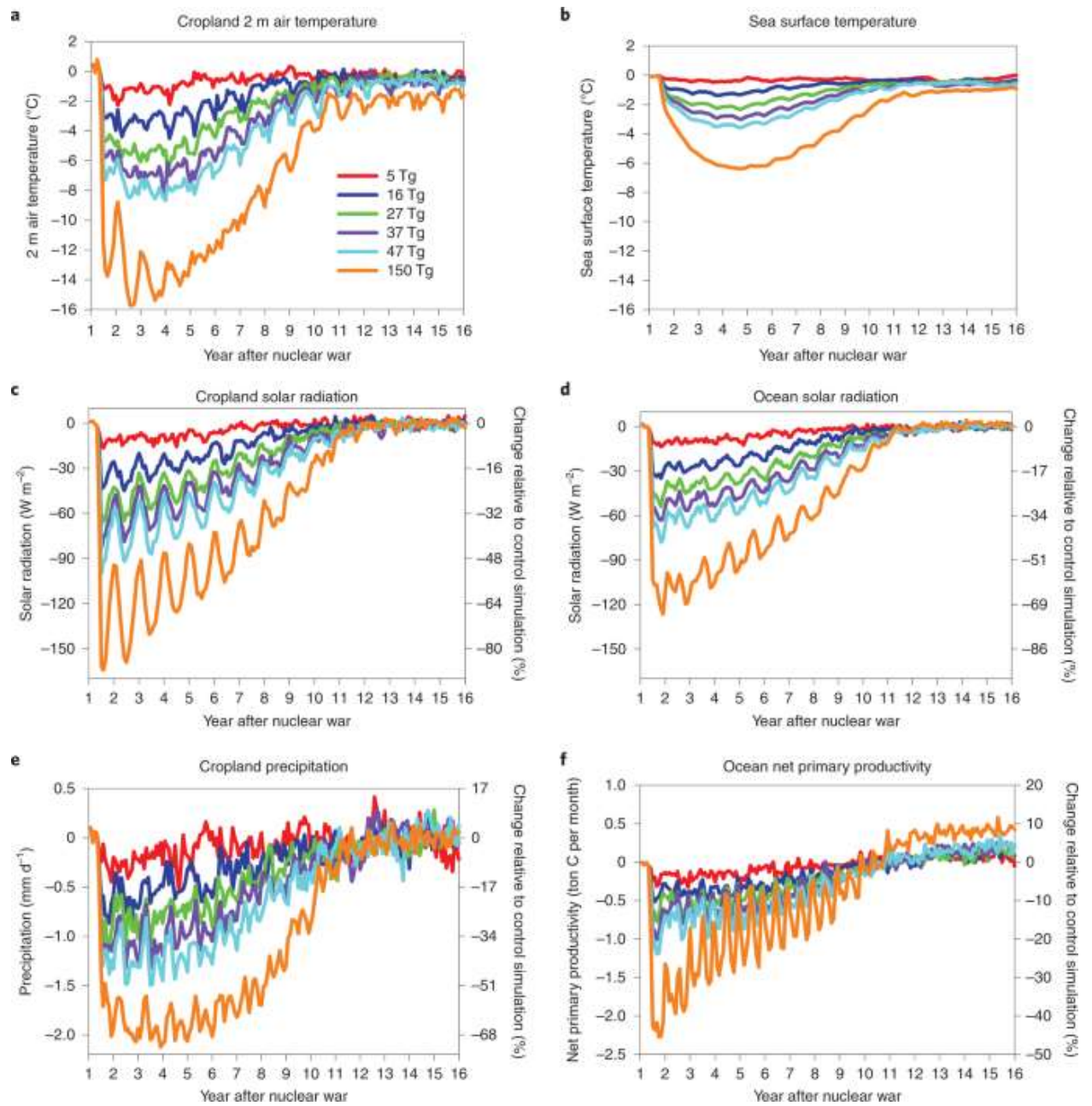


Рис. 2: Изменения в производстве калорий сельскохозяйственными культурами и рыбой, а также изменение накопленного углерода в травах после различных инъекций сажи ядерной войны.

фигура 2

а – с , Глобальное среднегодовое изменение калорийности производства сельскохозяйственных культур (%; кукурузы, пшеницы, риса и соевых бобов, взвешенное по их наблюдаемому производству (2010 г.) и калорийности; а), изменения производства морской рыбы (%; b) и совокупных культур и Изменение производства калорий в рыбе (%; c) после ядерной войны для различных сценариев впыска сажи. d . Углерод листьев трав представляет собой комбинацию трав C3 и C4, а изменение рассчитывается как годовое накопление углерода. Для контекста: серая линия (и заштрихованная область) на графике а представляет собой среднее значение (и стандартное отклонение) шести моделей сельскохозяйственных культур из Глобального взаимного сравнения моделей сельскохозяйственных культур (GGCMI, ссылка 14) в рамках сценария 5 Tg. CLM5scor демонстрирует консервативный ответ на ядерную войну по сравнению с многомодельным ответом GGCMI.

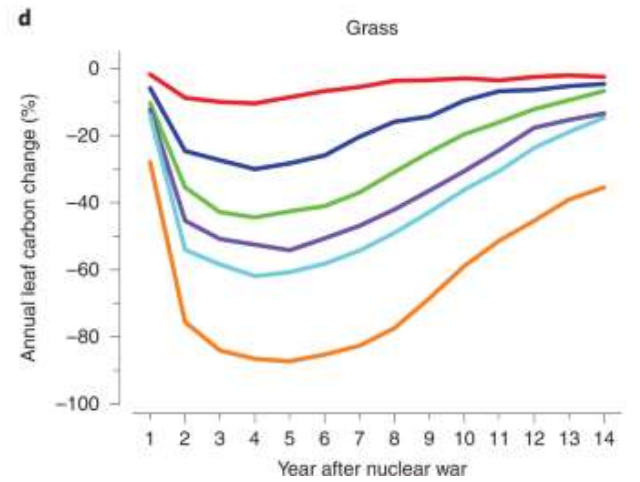
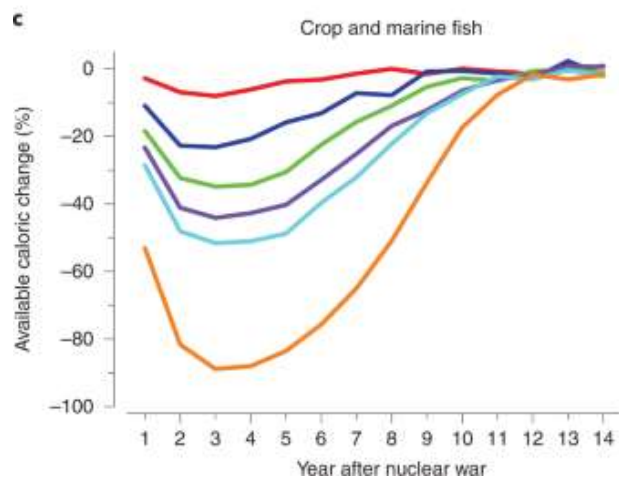
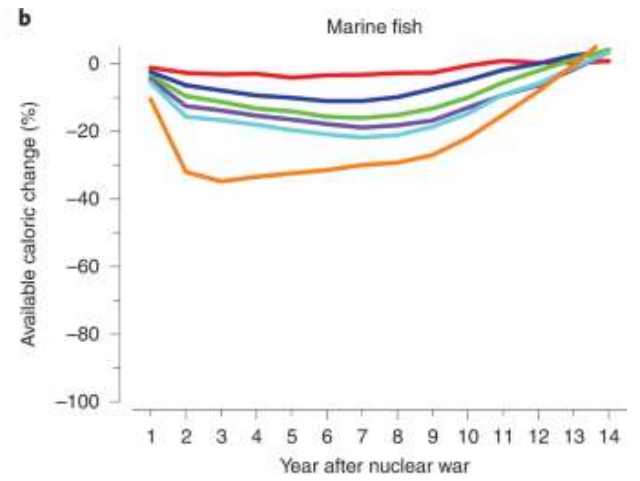
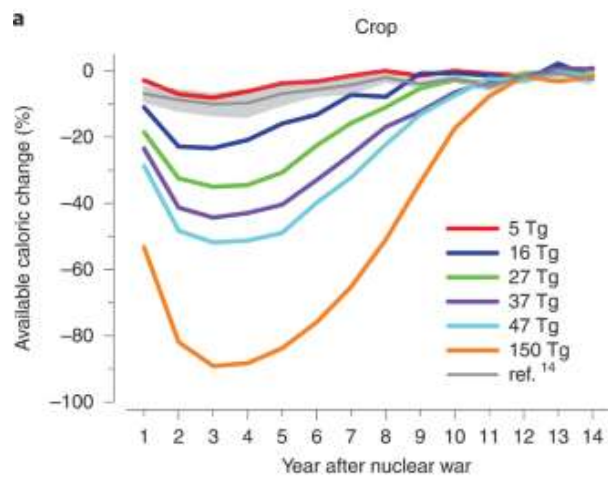


Рис. 4: Потребление пищи (ккал на душу населения в день) на втором году обучения после различных инъекций сажи ядерной войны.

рисунок 4

На левой карте показан статус потребления калорий в 2010 году без международной торговли; левый столбец – случай с домашним скотом ; средний столбец представляет собой случай частичного поголовья скота , при котором 50% корма для скота используется в пищу людям, а остальные 50% по-прежнему используются для кормления скота; а правый столбец представляет собой случай отсутствия домашнего скота , при котором 50% кормов для скота используется в пищу людям. Все карты предполагают отсутствие международной торговли и общее количество калорий равномерно распределено внутри каждой страны. Регионы, отмеченные зеленым цветом, означают, что потребление продуктов питания может поддерживать текущую физическую активность в этой стране; области, отмеченные желтым цветом, — это потребление калорий, которое поможет людям похудеть, и будет поддерживаться только сидячая физическая активность; а области, выделенные красным, указывают на то, что ежедневное потребление калорий будет меньше, чем необходимо для поддержания основного уровня метаболизма (также называемого расходом энергии в состоянии покоя) и, таким образом, приведет к смерти после того, как человек исчерпает энергетические запасы своего тела в виде накопленного жира и расходуемых мышц 28 . 150 Тг + 50% отходов – это половина бытовых отходов, добавляемых к потреблению продуктов питания, а 150 Тг + 100% отходов – это все бытовые отходы, добавляемые к потреблению продуктов питания.

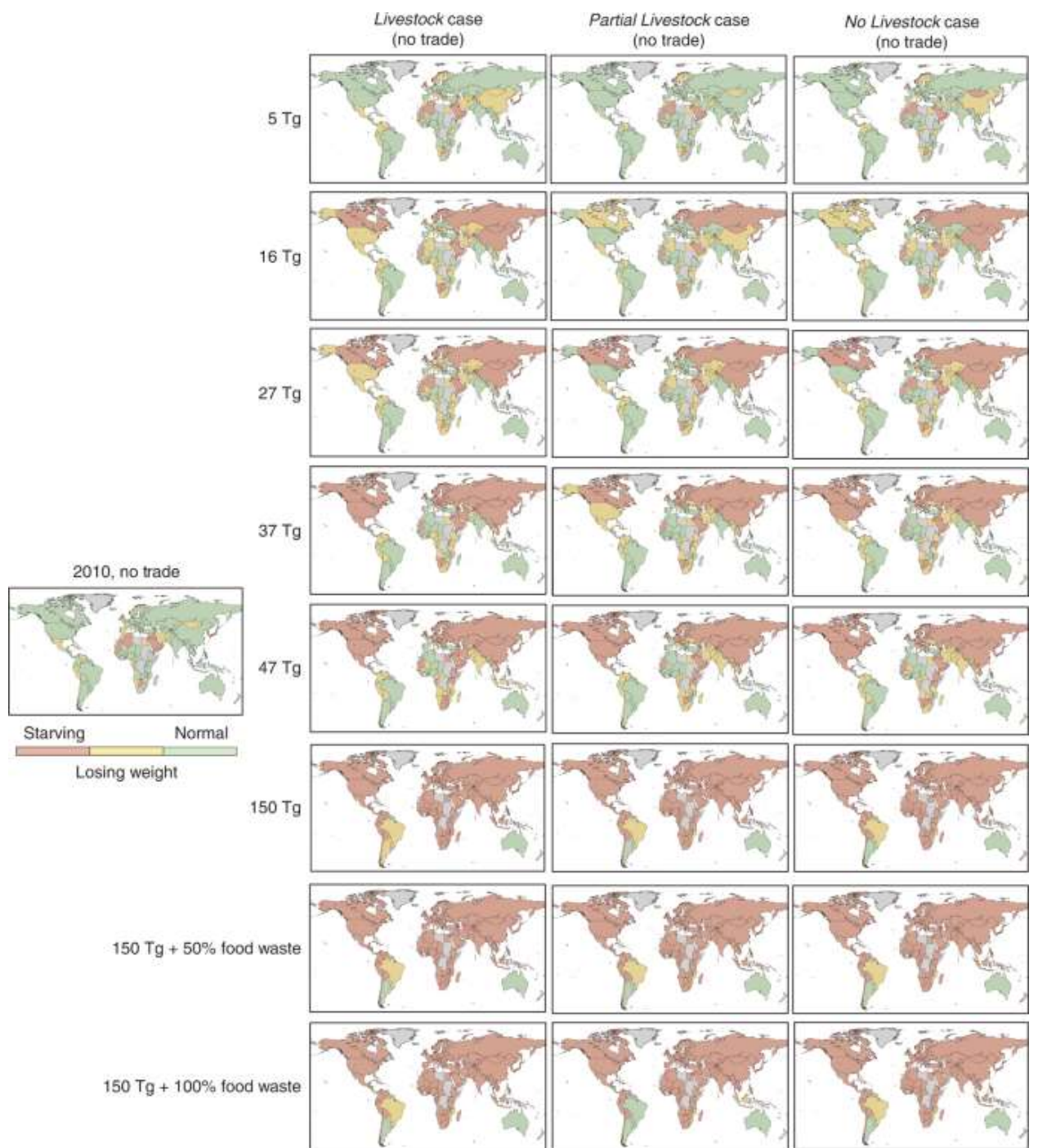


Рис. 5: Обзор глобального потребления калорий и чувствительность к допущениям о животноводстве и пищевых отходах.

цифра 5

а , Глобальное среднее изменение потребления калорий на человека в день во второй послевоенный год в случае с животноводством (желтые столбцы) и в случае с частичным животноводством (красные столбцы), при условии, что все продукты питания и отходы распределены равномерно. В случае частичного животноводства дополнительные калории, потенциально доступные при потреблении человеком кормов для животных, в основном кукурузы и соевых бобов, нанесены на график для различных порций переработанных кормов для животных (розовые отметки), а оставшиеся корма для скота используются для выращивания скота. Критические уровни потребления пищи отмечены справа. б , Без международной торговли, население мира (%), которое могло бы быть поддержано, хотя и с недостаточным весом, за счет внутреннего производства продуктов питания в конце второго года после ядерной войны, если бы оно получало калории, поддерживающие его регулярную физическую активность 29 и остальную часть населения. население не будет получать продовольствия в случаях «Животноводство» и «Частичное поголовье скота» . Синяя линия в б показывает процент населения, которое может быть прокормлено текущим производством продуктов питания, если производство продуктов питания не изменится, но международная торговля остановлена. Сначала рассчитываются национальные данные (дополнительные таблицы 4 и 5 и дополнительный рисунок 5), а затем агрегируются в глобальные данные.

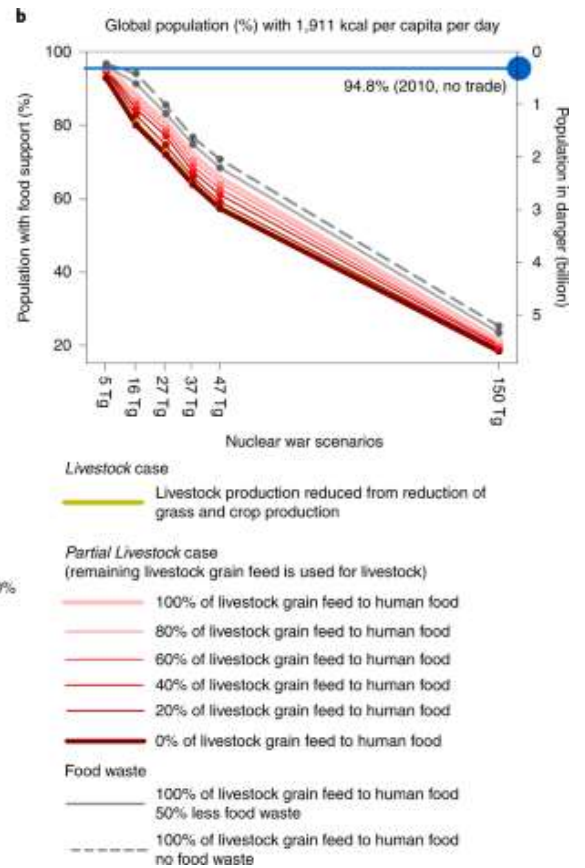
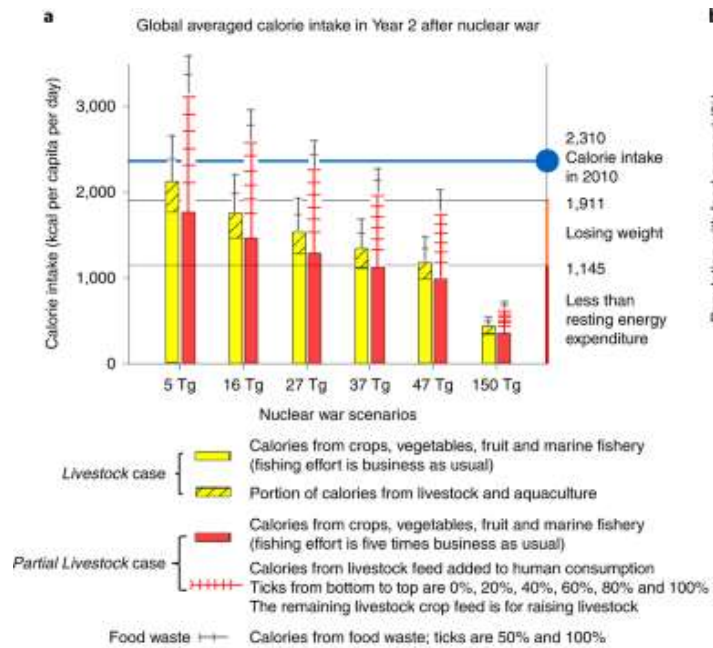
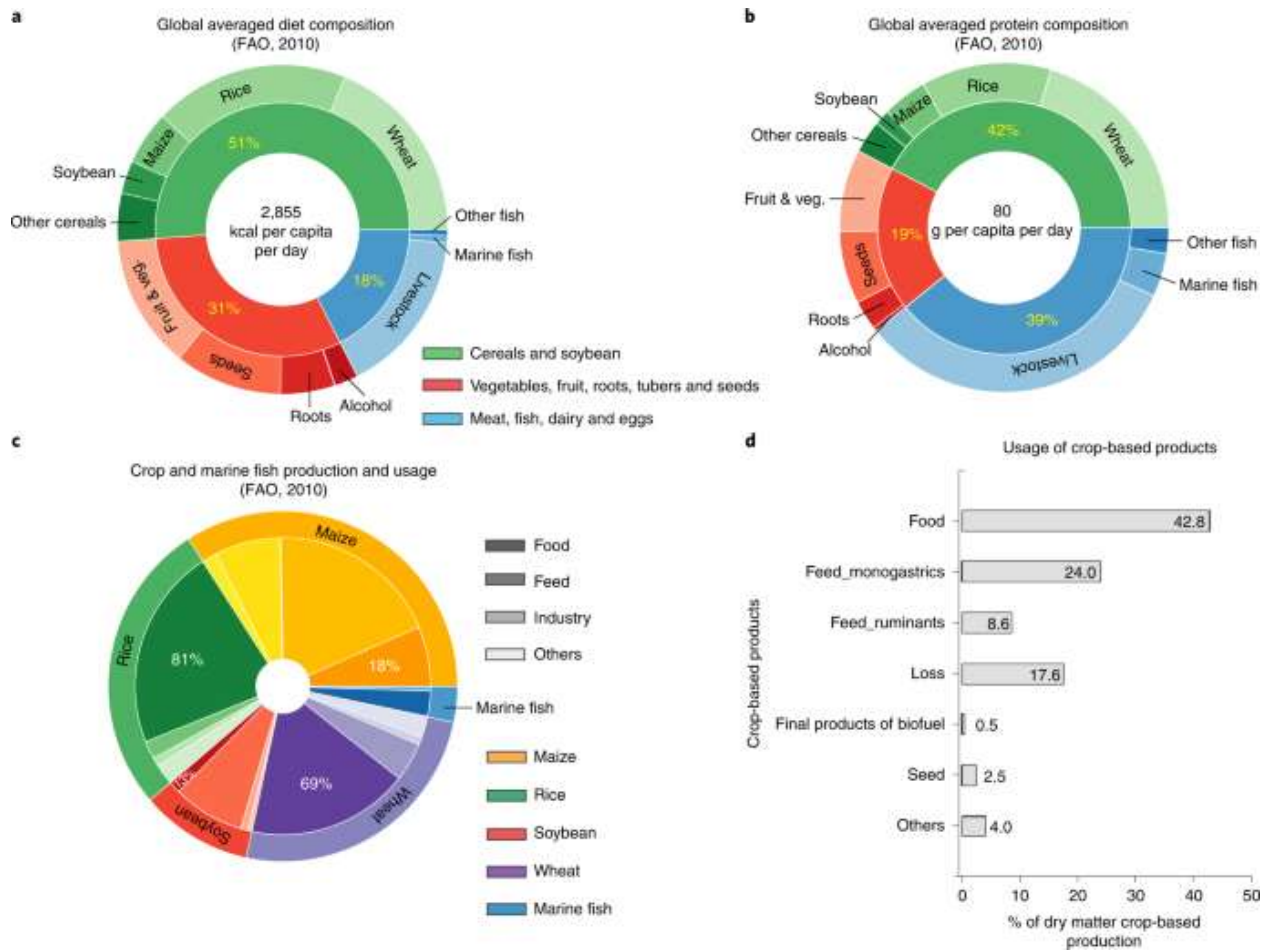


Рис. 3. Средний глобальный рацион человека, белковый состав и использование продуктов растениеводства.

рисунок 3

a , Средний состав рациона питания человека в мире 23 . Проценты — это % доступных калорий. Veg. это овощи. b , Средний глобальный состав белкового рациона человека 23 . На вылов морской рыбы в дикой природе приходится 75% вылова морской рыбы 46 . Проценты представляют собой % производства сухого вещества. c . Распределение четырех основных зерновых культур и морской рыбы между продуктами питания человека и другими видами использования 24 , 47 . Проценты представляют собой % производства сухого вещества. d , Использование продукции растениеводства в 2010 году (% сухого вещества продукции растениеводства) 26 . Легенда цветового градиента, выделенная серым цветом на рисунке c , иллюстрирует использование различных культур и рыб в цветах. Хотя люди потребляют большую часть выращиваемой пшеницы и риса, большая часть кукурузы и соевых бобов используется на корм скоту.



pp